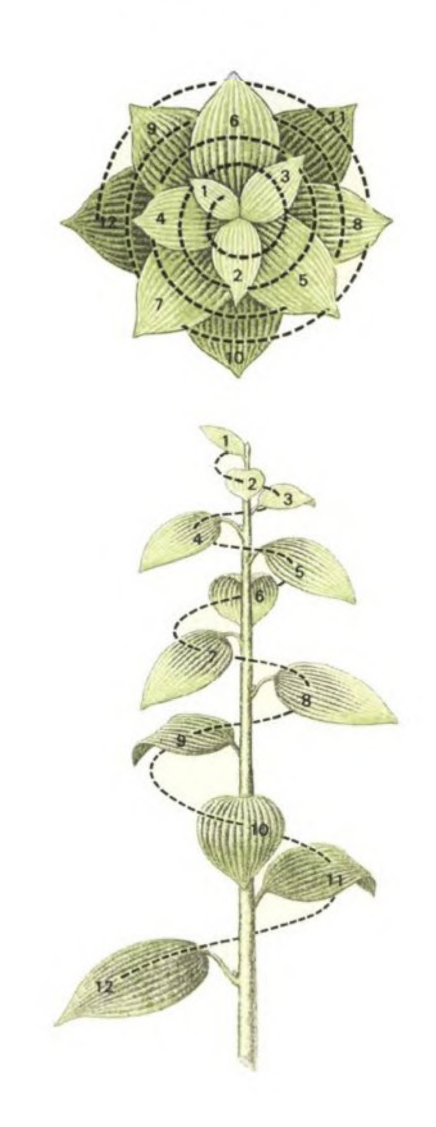
Ф. ВЕНТ

В МИРЕ РАСТЕНИЙ

ИЗДАТЕЛЬСТВО
МИР

THE PLANTS

by FRITS W. WENT



TIME-LIFE INTERNATIONAL
(NEDERLAND)

Ф. ВЕНТ

В МИРЕ РАСТЕНИЙ

Перевод с английского
И. М. Спичкина

Под редакцией и с предисловием
канд. биол. наук П. И. Лапина

Издательство «Мир»
Москва 1972

581.5
В 29

Вент Ф.

В 29 В мире растений. Пер. с англ. И. М. Спичкина. Под ред. и с предисл. канд. биол. наук П. И. Лапина. М., «Мир», 1972.

192 с. с илл.

Ф. У. Вент, известный голландский ботаник, знакомит нас с удивительным миром растений и рассказывает о той исключительной роли, которую играют растения в жизни нашей планеты и человека.

Книга превосходно иллюстрирована и, бесспорно, заинтересует всех, кого влечет к себе природа и кто хочет проникнуть в ее таинства.

2-10-5 / 163-72 581.5

Редакция научно-популярной и научно-фантастической литературы

ПРЕДИСЛОВИЕ

Хорошие книги о жизни растений всегда пользовались большим успехом у читателей. Тем более нужны они в наши дни. Девятый пятилетний план развития народного хозяйства СССР предусматривает широкую программу мероприятий по повышению продуктивности всех сельскохозяйственных культур, по охране и преобразованию природы, по более рациональному использованию ее сырьевых ресурсов и улучшению естественной среды, окружающей человека.

Растительный мир в природном комплексе нашей планеты составляет центральное звено. Появление зеленых растений, способных превращать энергию солнечного излучения в энергию химических связей восстановленных соединений углерода и синтезировать органическое вещество из элементов неживой природы, имело принципиально важное значение в развитии Земли. Именно зеленые растения стали единственным источником кислорода и уникальной фабрикой первичного органического вещества. Растения определили формирование кислородной атмосферы Земли, возникновение животного мира и самого человека.

В течение миллионов лет растения и животные все больше приспосабливались к среде обитания, а среда в свою очередь преобразовывалась под влиянием живой природы. Сравнительно небольшую область распространения жизни на Земле, включающую населенную организмами верхнюю часть земной коры, воды рек, озер, морей и океанов и нижнюю часть атмосферы, принято называть биосферой.

В биосфере выработался устойчивый кругооборот веществ, который обеспечивает гармоничное взаимодействие и самовозобновление ее важнейших элементов.

До недавнего времени роль человека в этих процессах была относительно невелика. Однако в XX веке и особенно за последние десятилетия влияние человека на биосферу сильно возросло.

В октябре 1970 года на 16-й сессии Генеральной конференции ЮНЕСКО был образован Международный координационный комитет по осуществлению долгосрочной программы «Биосфера и человек». СССР принимает участие в этом комитете. Проект программы намечает разработку более 30 крупных тем. Будут изучаться возможности, перспективы и последствия переселения и создания новых видов растений, применения удобрений и мелиорации, борьбы с вредителями и болезнями, замены природных растительных ландшафтов искусственными и т. д. Намечается определить перспективы дальнейшего развития современных городов, промышленности, транспорта, гидротехнических сооружений и других областей деятельности современного человека.

Нетрудно заметить, что во всей этой программе ведущая роль отводится экологической оценке многостороннего влияния человека на среду. Это обстоятельство диктует специальные меры в области естественнонаучной пропаганды.

Именно эти соображения и побудили издательство «Мир» выпустить в свет русский перевод книги доктора Ф. У Вента «В мире растений». В ней лаконично и доходчиво рассказывается о жизни растений, их эволюции и огромной роли, которую они играют в существовании Земли и жизни человеческого общества.

Тема книги «В мире растений» безгранична. Однако доктору Венту удалось не просто кратко сообщить о самых важных фактах и явлениях, исследованных современной наукой, но и соответствующим образом настроить читателя, убедить его в огромном значении рассматриваемых в книге проблем.

С развитием цивилизации и быстрым научно-техническим прогрессом значение растительного сырья еще больше возрастает. Специалисты считают, что ассортимент изделий, например из древесины, 20 лет назад включал около четырех тысяч наименований. Теперь же он расширился до пятнадцати тысяч.

С ростом населения планеты, увеличением энергетических ресурсов диапазон применения лесного сырья — древесины, стружек, опилок, веток,

корней и даже листьев — возрастет еще больше. Настанет время, когда на лесосеках не будет оставаться отходов, каждый килограмм органической массы, старательно синтезированной замечательным тружеником — растением, пойдет в дело. А это очень важно. Было время, когда растительные ресурсы казались неисчерпаемыми. Как теперь выяснилось, это далеко не так. В наши дни люди должны мобилизовать все свои познания, весь свой организаторский опыт, чтобы умножить продуктивность растений и улучшить использование растительных продуктов.

Книга Ф. Вента «В мире растений», безусловно, поможет решению этой проблемы. Ее успеху, вероятно, способствовали и жизненная школа и личные наклонности автора.

Доктор Вент вышел из семьи, в которой служение ботанической науке было доброй традицией. Юные годы Вент провел в Голландии, в городе Утрехте, где его отец преподавал в университете и работал в ботаническом саду. Сын пошел по стопам отца. Окончив университет и получив ученую степень доктора наук, молодой Вент отправился работать в Индонезию, в Богорский ботанический сад, где великолепно сочетаются благодатная природа Явы, неповторимые ландшафты тропического острова и богатые коллекции растений, созданные вдохновенным трудом ботаников. В саду под открытым небом растут 5500 разных видов растений тропических стран всех континентов. Эти растения относятся к 2100 родам и 220 семействам.

В Богорском ботаническом саду издавна сложилась хорошая традиция — на длительный срок приглашать ученых из разных стран мира для научной работы. В небольшом одноэтажном здании оборудованы научные кабинеты, оснащенные всем необходимым для проведения исследований по анатомии, физиологии, цитологии.

Гостеприимством Богорского ботанического сада широко пользовались и наши соотечественники. Еще до революции здесь проводили очень важные исследования выдающиеся русские ученые А. Н. Краснов, С. Г. Навашин, М. И. Галенкин, В. М. Арнольди, Н. А. Максимов, В. Н. Любименко и др. После второй мировой войны там работали профессора Н. Е. Кабанов, М. С. Яковлев и др.

Работа Вента в Богоре во многом определила его дальнейший успех. Именно здесь сложился широко образованный натуралист, способный наблюдать, видеть и обобщать. И когда в 1933 году он переехал на работу в США, накопленные в Богоре знания и опыт ему очень пригодились.

До 1953 года Вент читал курс лекций по физиологии растений в Калифорнийском политехническом институте, а потом стал директором Миссурийского ботанического сада в Сент-Луисе. Одним из первых он стал разрабатывать проблему растительных гормонов. Он выполнил серию интересных исследований по установлению закономерных связей между внешними условиями и ростовыми процессами у растений. Через 15 лет Вент обобщил результаты своих экспериментов в большой монографии «Управление ростовыми процессами у растений».

Знания, опыт и природная склонность к исследованию проблем экологии растений пригодились Венту в годы работы в Миссурийском ботаническом саду (Сент-Луис). Здесь под научным руководством доктора Вента был создан первый в мире климатрон, своеобразная оранжерея нового типа с автоматическим регулированием температуры, влажности и отчасти света — важнейших климатических факторов, влияющих на рост и развитие растений.

Доктор Вент лично руководил проектированием и строительством климатрона, а затем заселением его растениями из разных уголков земного шара. Этот уникальный эксперимент дал богатую пищу для размышлений, обильный фактический материал для научных обобщений.

В текущем пятилетии в Москве в Главном ботаническом саду АН СССР будет построен климатрон. В его создании учитывается опыт Сент-Луиса и других ботанических садов мира. Несколько лет назад Вент посетил Главный ботанический сад и поделился опытом строительства и эксплуатации климатрона.

Хотелось бы обратить внимание советских читателей на то, что классификация растений, предлагаемая Вентом, несколько отличается от принятой советскими ботаниками, так как пока не существует единства взглядов в этом вопросе. Примерно то же можно сказать и о предполагаемом геологическом времени возникновения различных форм растительной жизни на Земле. Нам

кажется необходимым также отметить, что многие растения и насекомые, упоминаемые в книге, относятся к флоре и фауне Северной Америки и в большинстве своем не имеют соответствующих названий на русском языке.

Все, кто готовил эту книгу к изданию, были бы очень рады, если бы читатели, ознакомившись с ней, прониклись уважением к миру растений, зажглись беспокойным желанием побольше узнать об этом великом творении природы, а может быть, и принять деятельное участие в охране и обогащении растительного ландшафта Земли.

П. Лапин

Урожайная пшеница — это только один из примерно 10 000 видов растений, относящихся к семейству злаковых, широко распространенному и имеющему жизненно важное значение для человека. Кроме пшеницы, это семейство включает большинство других зерновых культур.

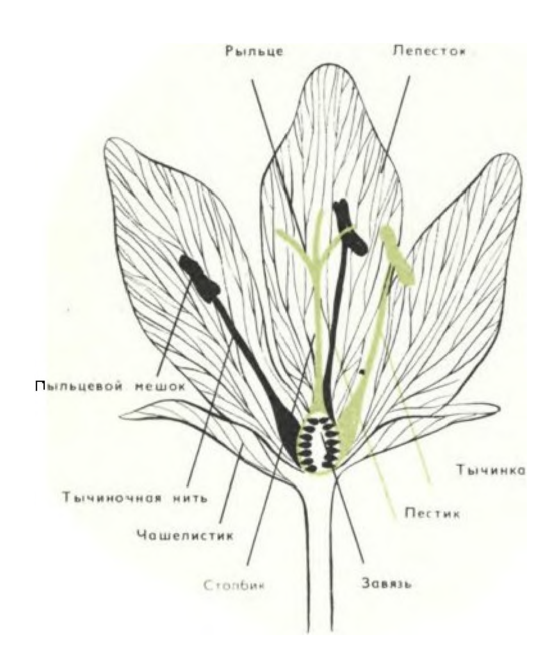
1 Зеленый мир

Ботаника — наука о растениях — занимает особое положение в истории развития человеческих знаний. Много тысяч лет человек едва ли имел о ней хоть какое-либо представление. Сейчас уже трудно установить, чтó именно было известно нашим предкам в каменном веке о растениях, но из того, что наблюдается в существующих и поныне примитивных общинах, можно сделать вывод о необычайной древности знаний о растениях и их свойствах. Это вполне понятно: ведь растения лежат в основании пищевой пирамиды, трофических связей всех живых существ, в том числе и самих растений. Растения всегда были чрезвычайно необходимы людям не только как пища, но также и для изготовления одежды, оружия, инструментов, красителей, медикаментов, мебели и других вещей. Аборигены джунглей Амазонки распознают буквально сотни растений и знают многие свойства каждого из них. Для них слово «ботаника» — пустой звук; они, вероятно, даже не знают, что существует такая особая отрасль знаний; для них растения — это нечто более основательное, элемент самой жизни, настолько фундаментальный и необходимый, что существовать без него было бы невозможно.

К сожалению, чем цивилизованнее люди, тем больше теряют они непосредственный контакт с растениями и тем менее конкретным становится их знание ботаники. Вместе с тем каждый бессознательно накапливает поразительное множество ботанических сведений и мало кто не сумеет отличить розу от яблони или орхидеи. Когда неолитический человек, живший на Среднем Востоке примерно 10 000 лет назад, нашел такие злаки, которые можно выращивать, ежегодно получая все бóльшие урожаи, был сделан первый серьезный шаг к новой связи человека и растений. Были открыты зерновые, и из них возникло чудо земледелия — культурные растения. Начиная с этого времени человек все больше и больше обеспечивал свое существование за счет целе-

направленного выращивания немногих растений вместо сбора небольших количеств семян от многочисленных дикорастущих видов, и знания, накопленные за десятки тысяч лет практики и непосредственного общения с растениями в природе, стали забываться.

К началу XVIII века ботаники занимались в первую очередь каталогизацией, давали наименования растениям. Учебник, написанный в то время (конечно, на латинском языке), определяет ботанику как «отрасль науки, с помощью которой можно быстрее всего распознать наибольшее число растений». Вряд ли это привлекало к ней будущих студентов. В самом деле, если экономику многие считают скучной наукой, то классическая ботаника заслуженно слыла у студентов следующей за ней. Я подчеркиваю — *классическая* ботаника, потому что за последнее столетие или около того произошли глубокие изменения в нашем подходе к изучению растений. В настоящее время ботаника включает десятки других наук — от биохимии до географии. Она имеет многочисленные точки соприкосновения с историей человечества, социологией и экономикой и позволяет нам понять происхождение жизни и эволюционные процессы. Это крайне интересный предмет, но лишь очень немногие, посвященные в эту область знаний, осознали, насколько сильно изменилась ботаника. Поэтому меня не удивляет, что когда я в первый раз веду группу студентов в поле, то они скучают — всем им хочется скорее закончить курс, получить дипломы и заняться чем-нибудь более важным, например англосаксонскими рунами.



АНАТОМИЯ ЦВЕТКА

На этом схематическом разрезе цветка указаны названия различных его частей. Оба типа половых органов выделены зеленым цветом. В центральной части — пестик: его основанием служит завязь с семенами, которая переходит в стройный столбик, заканчивающийся улавливающим пыльцу рыльцем (в данном случае трехлопастным). Каждая из соседних мужских тычинок состоит из двух частей: поддерживающей тычиночной нити и пыльцевого мешка, или пыльника, в котором образуется пыльца. Пестик и тычинки окружены лепестками, и весь комплекс в свою очередь охватывается чашелистиками, ранее защищавшими этот сложный орган в маленькой цветочной почке.

Обычно в поле я начинаю с того, что спрашиваю у новых студентов названия встречающихся растений. Как правило, поскольку большинство студентов выросло в городе, они с трудом справляются с ответами, все более смущаются и скоро ограничиваются угрюмым «не знаю». Это как раз то самое время, когда нужно пробудить их активность, и я срываю какой-нибудь злак.

— Что это такое? — спрашиваю я.

— Мы не знаем злаков, — отвечает кто-нибудь.

— Очень хорошо; это именно то, что нам нужно, — говорю я. — Вы только что сказали мне название семейства, к которому относится это растение, — злаки, или Gramineae. Я сам знаю лишь несколько злаков, ненамного больше, чем вы. Как и вы, я могу отличить кукурузу от бамбука и рис от пшеницы. Теперь вам нужно лишь воспользоваться своими глазами, чтобы повнимательнее рассмотреть этот злак, и вы увидите, что он имеет мелкие, но очень красивые и изящные цветки. Посмотрите еще внимательнее и вы различите миниатюрные рыльца пестиков — они тор-

чат из верхушек цветков и готовы перехватить переносимые ветром зерна пыльцы, чтобы растение было оплодотворено и смогло размножиться. Вы можете видеть также и пыльники, или пыльцевые мешки, подвешенные на тычиночных нитях; они раскачиваются на ветру и высыпают пыльцу для оплодотворения других находящихся вблизи растений.

К этому времени несколько студентов уже рассматривают злак стоя на коленях, и я задаю другой вопрос: почему у некоторых растений цветки крупные и эффектные, тогда как у злаков они такие мелкие и незаметные? На это обычно также ответа не бывает, и я объясняю, что здесь дело связано с опылением: все цветковые растения должны опыляться для того, чтобы образовать жизнеспособные семена. Одни растения самоопыляются, другие опыляются насекомыми, птицами или даже летучими мышами, третьи — ветром. Растения, опыляемые насекомыми, привлекают их яркой окраской или ароматом своих цветков, растения, опыляемые ветром, не нуждаются в крупных и эффектных цветках.

У следующего сорванного мной растения совсем не видно цветков. И интерес, который я сумел пробудить к злаковому растению, кажется утраченным. Но после моего пояснения, что хороший ботаник для определения растения пользуется не только глазами, но и всеми органами чувств, несколько студентов робко завладевают облиственной веточкой, нюхают ее и с удивлением говорят: «пахнет мятой». Я подтверждаю, что они действительно правильно определили растение: это мята, по-латыни *Mentha*.

Следующее растение, предложенное для изучения, вызывает больший интерес. Теперь студентов интересует, нет ли у растения каких-нибудь иных свойств, кроме тех, что можно видеть или выявить при помощи обоняния, свойств, которые могли бы дать ключ к определению. Они нюхают — и ничего не ощущают. Я предлагаю им растереть листья и понюхать снова — и опять нет никакого особого запаха. Но как раз в тот момент, когда студенты готовы бросить листья, появляется слабый приятный запах, становящийся все более отчетливым. Больше того, в нем обнаруживается что-то неуловимо знакомое, и в конце концов один или два студента определяют запах горького миндаля. Вызван он бензойным альдегидом — химическим соединением, хорошо знакомым каждому работавшему в лаборатории. Это растение — дикая вишня, и запах указывает на его принадлежность к семейству розоцветных*

* Не все растения из семейства розоцветных обладают запахом горького миндаля. — *Здесь и далее примечания редактора.*

** Большинство пшениц относится к самоопыляющимся растениям.

ВЕТЕР ИЛИ ПЧЕЛЫ

*Все хвойные и многие цветковые растения опыляются ветром. Пшеница (вверху) имеет незаметные цветки (справа), из которых высовываются мужские тычинки, высыпающие подхватываемую ветром пыльцу, и перистые женские рыльца, ожидающие пыльцу, которую принесет к ним ветер с соседних растений пшеницы **. У насекомоопыляемых растений, подобных тюльпану (внизу), цветки, как правило, ярко окрашены и выделяют нектар. Растения, оплодотворяемые таким образом, образуют меньшие количества пыльцы и имеют более простые женские органы, чем растения, зависящие от капризов ветра.*

СВЯЩЕННАЯ ЛИЛИЯ

Появление первых изображений растений можно, вероятно, объяснить интересом человека к их лекарственной ценности или его стремлением придать растению какое-то религиозное значение. Эта белая лилия является частью критской фресковой росписи, сделанной примерно в 1550 году до нашей эры. В этот период лилия считалась символом плодородия. Кроме того, она была священной эмблемой богини — покровительницы охотников, рыболовов и моряков.

Но почему запах бензойного альдегида не был заметен сразу? Ответ кроется в химическом составе растения. Многие представители семейства розоцветных содержат амигдалин, один из так называемых глюкозидов — веществ, содержащих сахара. Глюкозиды — это сложные химические соединения, в которых сахар химически связан с синильной кислотой и бензойным альдегидом или каким-нибудь другим соединением. Сами сахара нелетучи, а следовательно, лишены запаха. Не имеет его и амигдалин. Но когда ткани листа раздавлены, освобождаются определенные ферменты, которые действуют как катализаторы при расщеплении молекулы амигдалина на синильную кислоту и бензойный альдегид. Вот тогда-то и появляется типичный запах горького миндаля. Итак, растирая лист между пальцами и нюхая его, мы не только определяем семейство растения, но и получаем к тому же начальный урок по биохимии растений.

Другие растения можно узнать по вкусу. Например, многие представители семейства крестоцветных содержат горчичные масла и могут быть определены на вкус. А семейство зонтичных можно опознать по довольно резкому характерному запаху, отчетливо выраженному у тмина, аниса, сельдерея или пастернака. Тут же я объясняю моим студентам, что лишь очень немногие растения настолько ядовиты, что их опасно брать в рот. Некоторые грибы, к примеру, могут причинить немало неприятностей, если их разжевать и проглотить. Из высших растений сумах ядовитый, сумах разнолепестный и сумах лаковый опасно даже трогать — у большинства людей прикосновение к ним вызывает жесточайшее раздражение кожи. Многие растения очень горьки на вкус, поэтому рекомендуется сначала осторожно тронуть языком срезанный край и только потом, откусив кусочек, разжевать его, но не проглатывать, а выплюнуть.

Таким образом, к концу первого практического урока ботаники мои студенты узнают, что они могут назвать род или семейство примерно половины растений, растущих в поле или в лесу, просто пользуясь своими органами чувств и теми сведениями, которыми они уже располагают. Это важный урок, поскольку он построен на тех же простых принципах, на которых издавна основывалась приблизительная классификация растений: если вам встретится незнакомое растение, рассмотрите его, понюхайте, разотрите, попробуйте на вкус, чтобы выяснить, какими оно обладает свойствами, и сравните их со свойствами уже известных вам растений.

Этот способ классификации все еще распространен среди сельских жителей. Люди, чья жизнь зависит от растений и животных, безусловно, *должны* уметь распознавать в окружающей их

среде каждое из разнообразных растений: они должны знать, какие из них имеют съедобные листья или плоды, какие можно использовать как веревку, какие содержат яд для стрел или для ловли рыбы и какие обладают лечебными свойствами. Отсюда и произошли описательные названия, отражающие свойства многих растений, например полынь горькая, котовник кошачий или кровавый корень.

Именно такого рода полевые определения, практиковавшиеся теми, кто собирал лекарственные травы, составляли основу для построения классификации растений почти во всем мире до XVI столетия. Примерно к этому времени традиционные методы ботанических исследований подверглись изменениям, позволившим преподавать ботанику студентам-медикам в университетах и изучать ее по книгам. Вкус и запах постепенно уступили дорогу свойствам, которые было легко описать словами или рисунками, — таким, как форма листа, окраска или строение цветка. Наконец, знаменитый шведский ботаник Карл фон Линне́, известный миру под именем Линнея (от латинского Linnaeus), нашел простой и очень практичный способ определения растений. Он указал, что число тычинок в цветке всегда одинаково у растений одной группы; например, у любого цветка из семейства амариллисовых шесть тычинок, у представителей семейства вьюнковых всегда четыре, а у семейства касатиковых три тычинки.

Классификационная система Линнея была чрезвычайно удобной, но он сам понимал, что она искусственна. Беда заключалась в том, что одинаковое число тычинок совсем не обязательно говорит о близком родстве растений. Так, мята с ее сильным запахом, супротивными листьями, четырехгранным стеблем, двугубым цветком и четырьмя тычинками, несомненно, близкородственна шалфеям, которые обладают точно такими же признаками, за исключением того, что у них только две тычинки. Более естественной и, следовательно, более точной была бы система, классифицирующая растения по их происхождению и эволюционному развитию. Такой и является общепризнанная в настоящее время система, в которой отражены пути вероятного развития растений от более примитивных, существовавших на Земле сотни миллионов лет назад, к более сложным.

К простейшим растениям, выделяющим кислород, относятся водоросли; по-видимому, такими были первые растения на Земле. Водорослей много; наиболее примитивные из них сине-зеленые водоросли — крошечные организмы, растущие, как правило, в пресной воде, где они образуют характерную темно-зеленую «пену». Среди сине-

ВОЛШЕБНАЯ МАНДРАГОРА

Старейшее из «чудодейственных» растений, мандрагора почиталась еще в Книге Бытия за ее якобы способность возбуждать страсть; использование мандрагоры в качестве наркотика продолжается и до наших дней. В греческой мифологии Цирцея подмешивала мандрагору в свои снадобья для превращения мужчин в свиней. Поскольку раздвоенный корень мандрагоры напоминает ноги, ее в средневековой Европе часто рисовали в виде крошечной человеческой фигурки, как на этом французском изображении «женского» корня, датируемом 1498 годом.

зеленых водорослей встречаются отдельные одноклеточные виды, но чаще они существуют в виде гроздей, длинных нитей или цепочек. Однако эти водоросли никогда не развиваются до уровня более сложных организмов и не размножаются половым путем. Их клетки меньше 0,001 сантиметра в длину и становятся заметны невооруженным глазом только в больших скоплениях.

Несколько более сложные и намного более многочисленные зеленые водоросли встречаются в пресной и соленой воде; они либо свободно плавают, либо прикреплены к чему-нибудь, либо передвигаются при помощи хлыстообразного жгутика. Именно зеленые водоросли вызывают так называемое «цветение» на поверхности водоемов.

Но почему же не вся поверхность озер и даже морей и океанов покрывается зелеными водорослями? Объясняется это тем, что водорослям, так же как, например, кукурузе или хлопчатнику, для роста и размножения нужны питательные вещества — нитраты и фосфаты, которые вымываются водой из почвы. Вот почему своего массового развития водоросли достигают лишь вблизи берега, а вдали от него, там, где нет необходимых им питательных веществ, они жить не могут и поэтому вода в открытом море не зеленеет.

В ходе эволюции, когда из более простых начали развиваться более крупные и сложные организмы, постепенно появились многоклеточные водоросли. Их клетки были или рыхло связаны, как у встречающихся в пресноводных прудах мелких колоний зеленых клеток вольвокса, снабженных жгутиками, или же соединялись в длинные волосовидные нити, как у спирогиры — обычной водоросли прудов и речных протоков. Со временем появились более сложные типы зеленых водорослей, например ульва, известная как морской салат, и хара — представитель семейства харовых. Все эти водоросли по своей окраске относятся к зеленым.

У еще одной многочисленной группы водорослей преобладает бурая окраска, поэтому ее представителей называют бурыми водорослями. К этой группе принадлежат самые крупные из существующих морских водорослей — огромные водоросли макроцистис. Они встречаются у берегов холодных морей, где прикрепляются к подводным скалам, образуя иногда тело длиной до девяноста метров и больше. Короткостебельные бурые водоросли можно обнаружить и в приливно-отливной полосе. Четвертая группа водорослей имеет красную окраску, а потому и называется красными водорослями. Они встречаются вдоль морских берегов, часто вместе с бурыми водорослями, но никогда не достигают таких размеров, как макроцистис. И наконец, можно назвать еще эвгленовые водоросли, обитающие

ПЕРВЫЕ СЕМЕНА

Сосновая шишка в начале своего развития смотрит верхушкой кверху, подставляя яйцеклетки на каждой из многочисленных своих чешуек переносимой ветром пыльце. После оплодотворения каждая яйцеклетка развивается в семя — этакую миниатюрную сосну в зародыше. По мере созревания шишка переворачивается вниз, ее чешуи расходятся и семена высыпаются на землю, вполне готовые для прорастания. Этот способ размножения, гораздо более эффективный, чем рассеивание спор, впервые возник примерно 300 миллионов лет назад. И с того времени хвойные растения успешно существуют до наших дней.

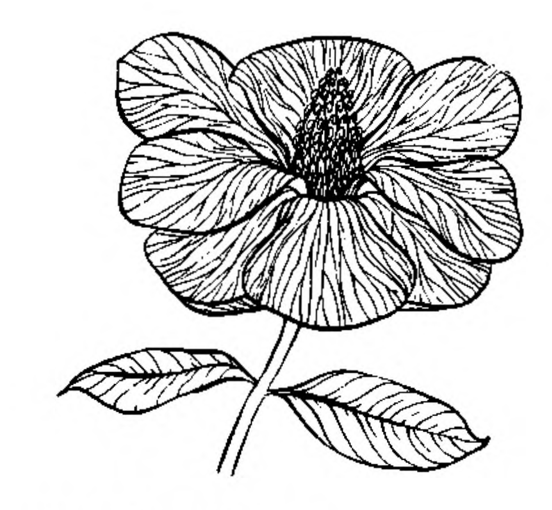
в непроточной воде, диатомовые водоросли и динофлагелляты, которые составляют бо́льшую часть фитопланктона морей, и хризомонады, образующие пресноводный планктон.

Естественно возникает вопрос: почему же столь древние и примитивные организмы, от которых произошли другие растения, продолжают существовать и поныне? А все дело в том, что водоросли исключительно хорошо приспособлены к окружающей среде, основными компонентами которой являются вода, растворенные в ней питательные вещества и солнечный свет. Ведь водоросли, как и все прочие растения, содержат зеленый пигмент, называемый хлорофиллом — жизненно важное вещество, которое поглощает энергию солнечного света и превращает ее в химическую энергию, необходимую растениям для роста.

Те растения, которые питаются за счет солнечной энергии, то есть способны синтезировать органические вещества из неорганических, относят к автотрофным. Разумеется, растут они только там, где достаточно много света, и все без исключения содержат хлорофилл — даже в тех случаях, когда у них отсутствует зеленая окраска. Многие окрашенные в иной цвет водоросли все же содержат хлорофилл, который маскируется дополнительными бурым или красным пигментами; если клетки, включающие этот пигмент, отмирают, то маскирующая окраска со временем вымывается и выявляется зеленый хлорофилл.

Если не считать некоторых бактерий, растения, не содержащие хлорофилла, не могут синтезировать для себя пищу. Подобно животным, они должны получать энергию от зеленых растений. Таким растениям свет не нужен: они могут расти в почве или в других местах, лишенных света. К ним относятся бактерии микроскопического размера, размножающиеся бесполым путем и имеющие такое же простое строение, как и простейшие водоросли, а также гораздо более крупные и намного более сложные грибы.

Грибы стоят на нижней ступени эволюции растений; их развитие в какой-то мере шло параллельно развитию водорослей, но они отличаются от последних тем, что не содержат хлорофилла. Гриб состоит в основном из массы волосовидных нитей — таких, какие бывают, например, у пушистой «плесени», появляющейся на куске лежалого хлеба. Иногда эти нити, или гифы, объединяясь, формируют крупную организованную структуру, как, скажем, у шляпочного гриба. Однако тело съедобного или несъедобного гриба, показывающееся из лесной подстилки, это только видимая, спорообразующая часть гриба. Она появляется только когда гриб готов к воспроизводству, но ее продолжение и более значительную часть составляет невидимое переплетение гиф, скрытых в



РЕШИТЕЛЬНЫЙ ШАГ ВПЕРЕД

Обыкновенная магнолия в отношении эффективности размножения пошла намного дальше сосны, так же как сосна в свое время опередила спорообразующие растения. Ее органы, образующие яйцеклетки и пыльцу, расположены бок о бок на центральной спирали цветка. Оплодотворение осуществляется не ветром, а переносящими пыльцу насекомыми, и семена магнолии остаются скрытыми в мясистой завязи до их полного созревания. Магнолия — это древний представитель огромной группы продвинувшихся в эволюционном отношении цветковых растений, которые преобладают в современной растительности.

почве. Тонкие нити гиф способны прорастать сквозь мельчайшие отверстия, и это позволяет грибам внедряться в ткани растений и животных во всех местах, где оболочка повреждена. Проникнув внутрь, гифы распространяются вширь и вглубь, заражая организм хозяина и питаясь за счет его отдельных клеток. Сотни болезней растений, среди них головня, ржавчина, вилт (увядание) и фитофтороз, так же как и десятки болезней животных и человека, — следствие такого действия грибов.

Однако не все грибы вредны. Вместе с бактериями грибы разлагают растительную подстилку в лесу, освобождая углекислоту и другие соединения углерода из остатков листьев и мертвой древесины и способствуя образованию плодородного гумуса. Некоторые грибы, например дрожжи, осуществляют полезные человеку химические реакции — например образование спирта из сахаров; другие грибы образуют такие важные антибиотики, как пенициллин и ауреомицин, и такие ценные продукты, как витамины и лимонная кислота.

Лишайники — еще одна замечательная группа примитивных растений, более устойчивая к неблагоприятным условиям, чем все другие. Некоторые из них покрывают ярко окрашенными пятнами поверхности камней, другие — кору деревьев. Высоко в горах или на далеком севере, в Арктике, где из-за сильных холодов не растут почти никакие растения, лишайники — основной элемент растительности. А в Антарктике это просто преобладающая группа растений. Если рассматривать под микроскопом тонкий слой лишайника, легко увидеть, что он состоит не из одного, а из двух разных растений: водоросли (сине-зеленой или зеленой) и гриба, нитевидные гифы которого образуют прочную оболочку вокруг водоросли. Водоросль благодаря своему хлорофиллу снабжает пищей обоих партнеров, а гриб обеспечивает водоросль минеральными солями и защитой. Это пример подлинного симбиоза, когда сожительствуют два совершенно различных организма, помогая друг другу и образуя новые необычные биологические формы, возможности которых превосходят возможности каждого организма — водоросли и гриба — в отдельности.

До сих пор речь шла о сравнительно простых растениях, и, хотя они населяют моря и значительную часть суши Земли, мы пока еще не упоминали о тех организмах, которые большинство из нас обычно и считают собственно растениями. Что же сказать о них? Что сказать о деревьях, кустарниках и травах, ярких цветках и зеленых листьях? Каково их место в общей картине растительного мира, когда и каким образом они возникли на Земле?

Наземные растения появились значительно позже водорослей, чьи следы были найдены в отложениях, возраст которых 2000 миллионов лет. Наиболее древние ископаемые остатки наземных растений имеют возраст около 420 миллионов лет, а 390 миллионов лет назад берега существовавших тогда водоемов были покрыты хорошо развитой растительностью. Эти ранние наземные виды называют сосудистыми растениями, так как у них уже имелись внутренние водопроводящие системы. Они размножались с помощью микроскопических спор, образующихся в маленьких мешках (спорангиях) на стебле или листьях. На протяжении многих миллионов лет сушу на Земле населяли именно такие споровые растения — псилофиты, папоротники, хвощи и плауны. Со временем развились древовидные папоротники и гигантские плауны, они образовали настоящие густые леса. В те дни растительность не оживляли ярко окрашенные цветки, она была однообразно зеленой. Впоследствии остатки этих заболоченных лесов дали начало основным угольным залежам.

К этому же периоду относится одно из очень важных «нововведений» природы — более совершенный способ размножения растений. Размножение при помощи спор сравнительно малоэффективно: лишь немногие из миллионов образующихся спор могли попасть в благоприятные для их прорастания условия освещенности и влажности и образовать половые клетки, чтобы они после слияния дали жизнь новому папоротнику или плауну. Семя же с достаточным запасом пищи и зародышем, заключенное в защитную оболочку, имеет гораздо больше шансов развиться в новое растение. Поэтому не удивительно, что в ходе эволюции некоторые папоротники и плауны начали образовывать семена. Семя было одним из великих «изобретений» эволюции растений, и, хотя многих из первых семенных растений уже давно нет, об их истории мы узнаем по ископаемым остаткам.

Из самых первых семенных растений до наших дней дожили хвойные — представители семейства сосновых*. Они так хорошо приспособлены к жизни на Земле, что за 300 миллионов лет существования у них не произошло почти никаких эволюционных изменений. Это одна из наиболее преуспевающих групп растений во всем мире. Сосна, ель и пихта занимают около трети всех лесов. Везде, где другим растениям трудно выжить — в Арктике, высоко в горах и у границ пустынь, — крайним аванпостом растительности обычно бывают хвойные. Среди живущих ныне

* Среди голосеменных растений, доживших до наших дней, более древними считаются растения, относящиеся к семействам саговниковых, гинкговых, тисовых, ногоплодниковых, араукариевых и головчатотисовых.

высших растений самый древний представитель (судя по ископаемым окаменелостям) — дерево гинкго. Это растение является близким родственником хвойных.

Таким преуспевающим хвойное дерево делает его шишка. Сосновая шишка — это в сущности не что иное, как совокупность специализированных спороносных «листьев», или чешуй, собранных в плотный пучок. На каждой из этих чешуй образуются одна или две крупные макроспоры. После оплодотворения из макроспоры формируется семя. Само строение шишки с ее твердыми чешуями, плотно прилегающими друг к другу и расположенными по спирали, обеспечивает сохранность находящимся внутри макроспорам. Но как только шишка созревает, концы чешуй расходятся и семена легко высыпаются из такой открытой шишки, если, конечно, птицы или белки их не успели к этому времени съесть.

Женские шишки, дающие семена, заметно крупнее мужских шишек, в которых образуются клетки спермы, или пыльца. Чтобы произошло оплодотворение, зерно пыльцы должно попасть на яйцеклетку, развившуюся в макроспоре. У хвойных растений это осуществляется только при помощи ветра. Нужны многие миллиарды зерен пыльцы, чтобы хотя бы немногие из них смогли достичь яйцеклетки. Автомобиль, поставленный в сосновом лесу в период цветения, будет покрыт золотистым слоем бесчисленных зерен пыльцы, не достигших места назначения. Тонкой желтой пленкой в этот период часто покрывается и поверхность ближайших к хвойному лесу озер.

Примерно через 150 миллионов лет после появления на Земле хвойных сформировались первые цветковые растения. Как и хвойные, они тоже образовывали семена, но семена иного рода. Большие изменения произошли, когда появились насекомые-опылители и растения для привлечения насекомых начали создавать поразительное разнообразие цветков. Но, несмотря на разницу во внешнем облике между древними цветковыми растениями, например магнолией, и сосной, все еще сохранилось удивительное сходство в механизме их размножения. Единственное важное различие заключается в том, что у магнолии нет отдельных женских и мужских шишек; оба пола представлены в каждом цветке, где они и выполняют свои функции.

Для этого имеется основательная причина, как и для большинства других явлений природы. До тех пор пока работу по перекрестному опылению выполняет ветер, нет необходимости в том, чтобы мужские и женские шишки росли в непосредственной близости друг от друга. Но если пыльца переносится насекомыми, то близость мужских и женских органов уже обретает смысл. А если они находятся в одном и том же цветке, то посещение его насекомым, вероятно, служит двойной цели: оставить часть принесенной пыльцы и захватить новый ее запас для переноса на следующий цветок.

Поскольку насекомое, методически посещающее один цветок за другим, несравненно эффективнее переносит пыльцу, чем ветер, естественно, у цветковых растений должна была появиться тенденция к уменьшению количества образуемой пыльцы, особенно за счет уменьшения числа тычинок*. По той же причине одновременно шло и сокращение числа женских семяпочек за счет уменьшения числа плодолистиков. Любопытно, что в ходе эволюции от примитивных к высшим растениям и у цветка проявилась тенденция к сокращению числа лепестков и чашелистиков.

При построении классификации за основу различия между примитивными хвойными и более высокоразвитыми цветковыми растениями было принято местоположение семени. В сосновой шишке непокрытые семена размещаются на плотно сложенных чешуях — откуда и появился термин Gymnospermae, или голосеменные растения. У магнолии плодолистики прикрывают семена, образуя плод, поэтому магнолия относится к Angiospermae, или покрытосеменным растениям.

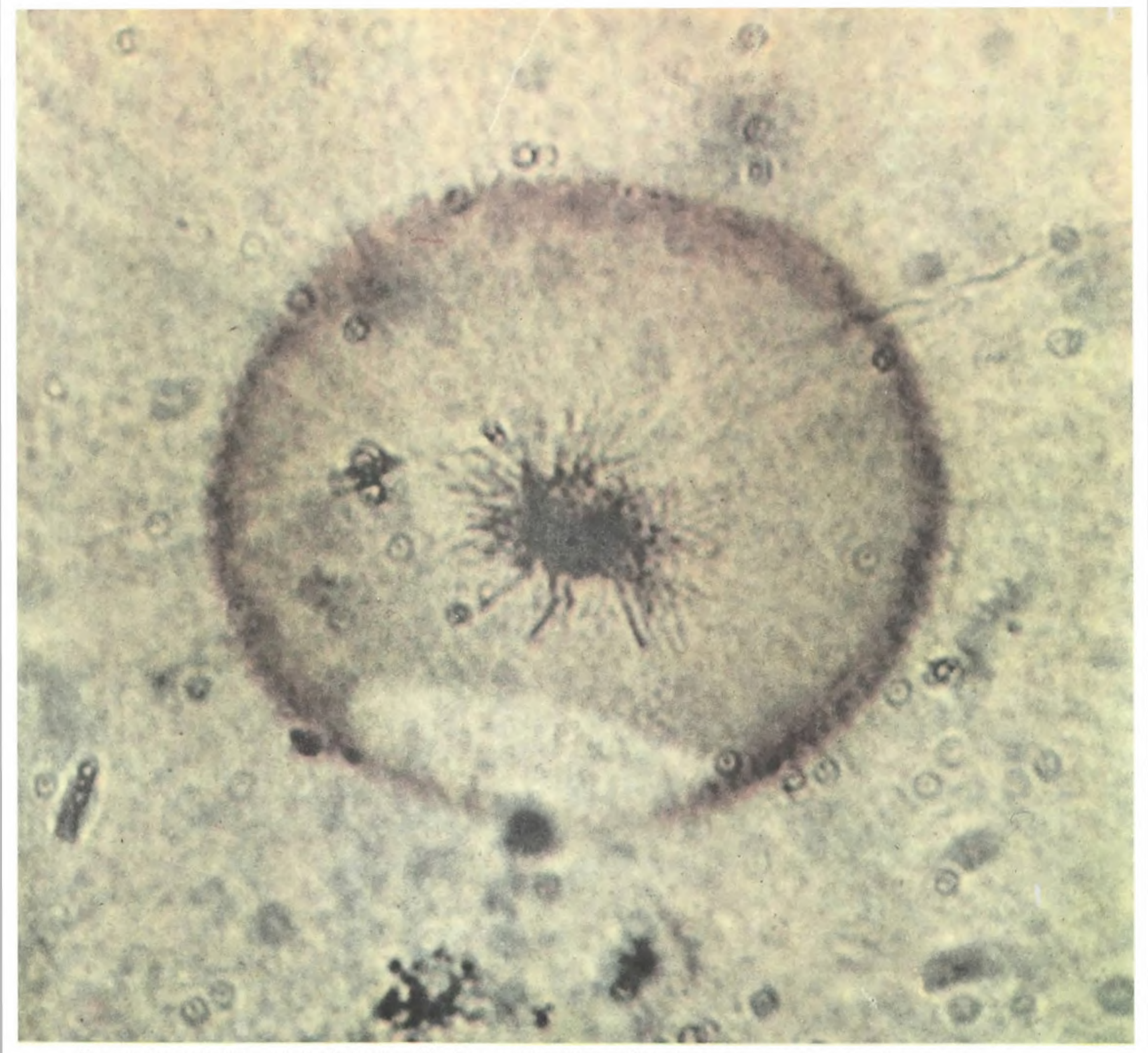
В стремлении провести дальнейшие разграничения среди 250 000 видов цветковых растений ботаники ухватились за незначительный на первый взгляд признак — число семядолей. Так, различаются двудольные растения — с двумя семядолями — и однодольные, имеющие только одну семядолю, причем последние появились позже, чем двудольные**. Этой разнице соответствует ряд очень заметных отличий у взрослых растений. Например, большинство листьев однодольных похожи на листья злаков, для которых характерно параллельное жилкование, тогда как двудольные большей частью имеют широкие листья с перистовидным или дланевидным жилкованием. Другие отличия обнаруживаются в цветках: у однодольных число лепестков и других частей цветка обычно равно трем, а у двудольных — преимущественно четырем или пяти.

Более детальное рассмотрение отличительных признаков приводит нас к распределению цветковых растений по семействам. Всего насчитывается около 300 различных семейств. Входящих в них отдельных видов так много, что они до сих пор еще все вместе не были собраны ни в одной какой-либо книге ни даже в серии книг.

* Среди цветковых растений немало и ветроопыляемых многие злаки, пальмы, береза, ольха, тополь, лещина, дуб, платан и др.

** У ученых, разрабатывающих проблемы эволюции растений, на этот счет пока еще нет единой точки зрения.

В таком перечне потребовалось бы описать примерно четверть миллиона растений. Чтобы составить его, всем систематикам мира пришлось бы сообща работать в течение многих лет, а плодом их труда явилось бы издание примерно в полмиллиона страниц — достаточно, чтобы занять целую стену в библиотеке. Тем не менее, лишь слегка коснувшись различных групп растений от водорослей до хвойных и цветковых, — нам удалось познакомиться с основами классификации в этом многообразном царстве. Однако мы уже узнали, что способность определять растения давно перестала быть единственной целью ботаники. Ниже читатель более глубоко заглянет в мир растений — узнает, из чего они состоят, как живут и функционируют, какие факторы управляют их ростом, выбором местообитаний и расселением по нашей планете.



Эти окаменевшие сине-зеленые водоросли из Канады — самые ранние свидетели возникновения жизни на Земле; их возраст — примерно 2000 миллионов лет.

НАШЕСТВИЕ ИЗ МОРЯ

Возникнув в море, растения стали великими завоевателями суши. Ныне это самая распространенная и многочисленная форма живых существ, заполнивших экологические ниши от пустынь до арктических льдов. И все же потребовались миллионы лет, прежде чем у растений появились самые простейшие стебли, листья и корни. Даже среди обитающих в наше время примерно 375 000 видов очень многие настолько примитивны, что их и растениями трудно назвать.

Вверх по эволюционной лестнице

На схеме показаны семь основных ступеней в эволюции растений — период, занявший примерно 2000 миллионов лет. За исключением гипотетических «предшественников» водорослей, о которых нам мало что известно, каждую ступень характеризуют обнаруженные ископаемые остатки или теоретически воссозданные виды. Схема показывает, как шло развитие исходных форм, как они разветвлялись, давая начало существующим ныне растениям. Цветные линии позволяют выделить таллофиты, или низшие растения, с относительно простой организацией (*голубой цвет*), и структурно более сложные эмбриофиты, или зародышевые растения, к которым относится большинство обычных наземных растений (*желтый цвет*).

Из-за пробелов в палеонтологических данных никто не может с уверенностью сказать, как связаны между собой эти семь групп. Ясно только одно, что при разветвлении какой-либо группы по крайней мере одна ветвь получает достаточную генетическую пластичность, чтобы осуществился очередной эволюционный скачок. Пока формируется новая группа, старая продолжает развиваться в направлении специализации своих представителей, постепенно теряя при этом способность к крупным эволюционным сдвигам.

ПОКРЫТОСЕМЕННЫЕ
Мел — 135 миллионов лет назад
ПЕРВЫЕ ЦВЕТКИ

ГОЛОСЕМЕННЫЕ
Карбон — 345 миллионов лет назад
ПЕРВЫЕ НАСТОЯЩИЕ СЕМЕНА

ПАПОРОТНИКИ
Девон — 390 миллионов лет назад
ПЕРВЫЕ НАСТОЯЩИЕ ЛИСТЬЯ

ПСИЛОФИТЫ
Силур — 420 миллионов лет назад
ПЕРВЫЕ НАСТОЯЩИЕ СТЕБЛИ

ЗЕЛЕНЫЕ ВОДОРОСЛИ
Кембрий — 600 миллионов лет назад
ПЕРВЫЕ ОРГАНИЗОВАННЫЕ ХЛОРОПЛАСТЫ

?

«ПРЕДШЕСТВЕННИКИ» ВОДОРОСЛЕЙ
Докембрий — примерно 2000 миллионов лет назад
ПЕРВЫЕ ВЫДЕЛЯЮЩИЕ КИСЛОРОД РАСТЕНИЯ

ДРЕВНИЕ БАКТЕРИИ
Докембрий — более 2000 миллионов лет назад
ПЕРВЫЕ ОРГАНИЗОВАННЫЕ ЖИВЫЕ СУЩЕСТВА

ОДНОДОЛЬНЫЕ
50 000 видов

ДВУДОЛЬНЫЕ
200 000 видов

ХВОЙНЫЕ
450 видов

САГОВНИКОВЫЕ
65 видов

ПАПОРОТНИКИ
10 000 видов

ХВОЩИ
25 видов

ПЛАУНЫ
1100 видов

ПСИЛОФИТЫ
3 вида

ПЕЧЕНОЧНИКИ И ДР.
8000 видов

МХИ
14 000 видов

ХРИЗОМОНАДЫ И ДР.
12 500 видов

БУРЫЕ ВОДОРОСЛИ
1750 видов

ГРИБЫ
57 500 видов

ЭВГЛЕНОВЫЕ
450 видов

ДИНОФЛАГЕЛЛЯТЫ
1000 видов

ЗЕЛЕНЫЕ ВОДОРОСЛИ
7000 видов

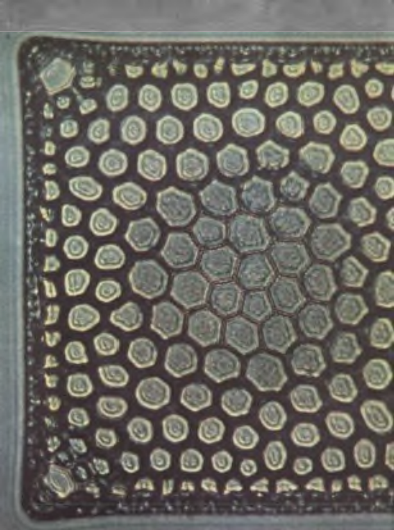
КРАСНЫЕ ВОДОРОСЛИ
3750 видов

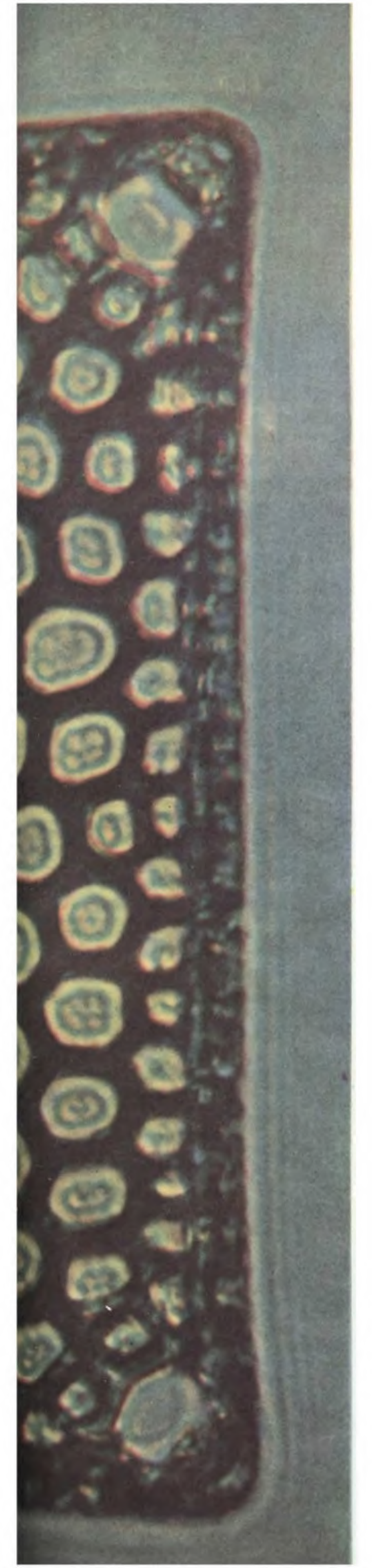
СИНЕ-ЗЕЛЕНЫЕ ВОДОРОСЛИ
1500 видов

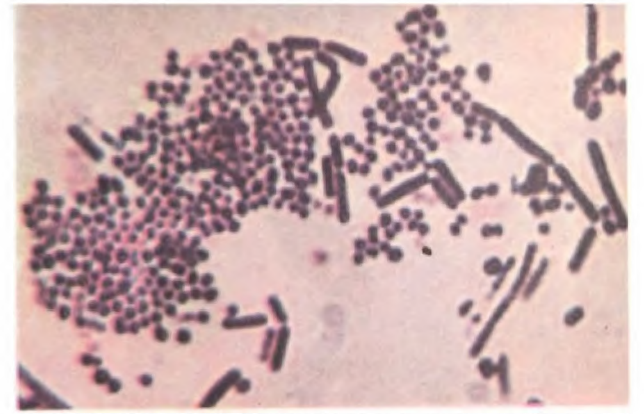
КОККИ, БАЦИЛЛЫ И ДР.
2000 видов

ФОТОСИНТЕЗИРУЮЩИЕ БАКТЕРИИ
50 видов

ХЕМОСИНТЕЗИРУЮЩИЕ БАКТЕРИИ
50 видов





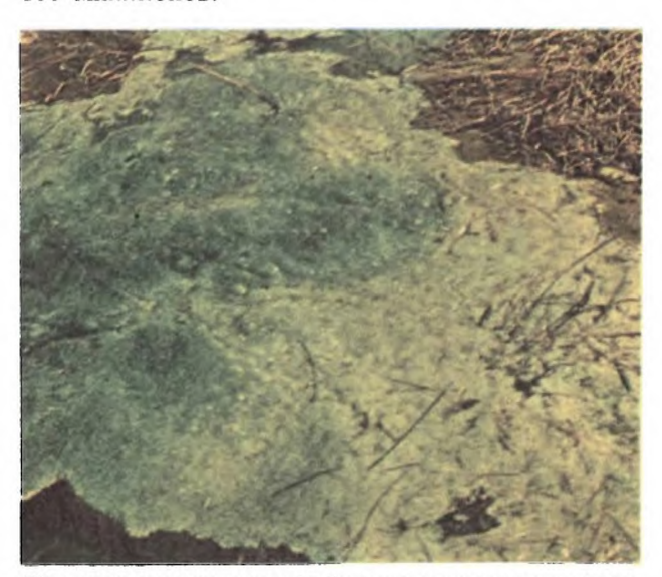


Палочковидные бациллы и шаровидные кокки — наиболее распространенные бактерии.

Мельчайшие растения

Самые мелкие и наиболее примитивные из растений — водоросли и бактерии — встречаются почти всюду. Водоросли широко распространены не только в пресных и соленых водах, где живут колониями или одиночными особями, но также в почве, в горячих источниках и даже на снегу; кроме того, они паразитируют на других растениях или животных.

Еще более вездесущи бактерии, многие из них живут даже внутри нас, питаясь живыми или мертвыми клетками, тем, что мы едим, и даже друг другом. Бактерии очень малы, на одном сантиметре можно расположить более 400 особей самых крупных видов. В капле жидкости их может быть до 50 миллионов, а в щепотке почвы — до 100 миллионов.



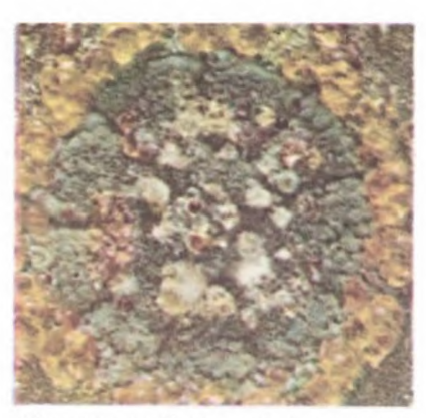
Пузырящаяся масса зеленых водорослей на поверхности неглубокого водоема. Образование хлорофилла в водорослях ознаменовало важный этап в эволюции растительного мира. С этого момента растения начали аккумулировать солнечную энергию и выделять свободный кислород в атмосферу.

Геометрически правильная диатомея, микроскопическая водоросль, стенки которой пропитаны кремнием и состоят из двух перекрывающихся створок, подобно ящику с крышкой. Обычно золотисто-бурая, на этой фотографии она имеет радужную окраску, благодаря преломлению лучей света.

Оранжевые лишайники, частично — грибы, частично — водоросли, растут на обнаженных скалах или на коре деревьев.

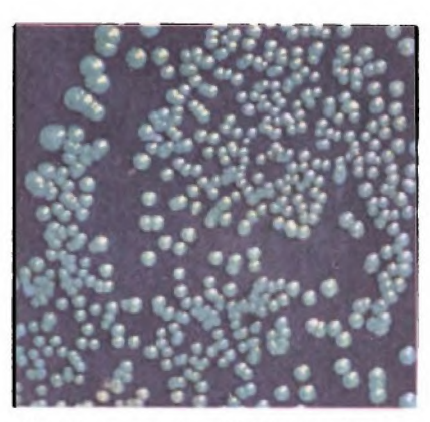
Грибы-санитары

Как и большинство бактерий, грибы не содержат хлорофилла. Они питаются мертвым или разлагающимся органическим материалом или живыми организмами. В эту группу входят не только обычные съедобные и несъедобные шляпочные грибы и дождевики, но и слизистые плесени и близкие им формы, а также паразитические грибы, подобные головне, гнилям и мучнистой росе. Слизистые плесени — наиболее загадочная группа: они настолько своеобразны, что систематики все еще продолжают спорить, относить ли их к растениям или к животным, поскольку они обладают свойствами и тех и других. Состоят они из расползающейся массы протоплазмы с многими ядрами, не поделенной на клетки; пищу поглощают, растекаясь и медленно наползая на нее.



Плесневые грибы, как правило, паразиты, включая и Penicillium — источник получения пенициллина.

Шляпочные грибы в числе прочих организмов способствуют превращению лесной подстилки в богатый питательными веществами гумус.



Дрожжи, микроскопические одноклеточные растения, выращиваются человеком для многих целей.

Флуоресцирующие поганки днем выглядят обычно (верхний снимок), но таинственно светятся в темноте (нижний снимок), меняя окраску от желто-оранжевой до сине-зеленой. Многие из них встречаются на гниющих стволах в тропических лесах Азии.

Похожие на животных слизевики, вступив в репродуктивную стадию, напоминают растения. Стебельчатые спорангии Stemonitis fusca достигают в высоту 15 миллиметров, у других видов стебелька может и не быть или же спорангии группируются в пучок.

Папоротник псилот, Psilotum nudum, не имеет ни настоящих листьев, ни настоящих корней. Он очень похож на растения, существовавшие 420 миллионов лет назад.

Печеночники, способные дифференцироваться на мужские и женские растения, теснятся во влажных местах. Этот мужской экземпляр маршанции образует мужские половые клетки в дисках, и дождь переносит их на женские растения.

Растения из прошлого

Интереснейшие разгадки строения и природы древних и исчезнувших форм представляют показанные на этих страницах мало изменившиеся за миллионы лет растения. Безлистный папоротник псилот — прямой потомок растений, у которых впервые появилась одревесневшая механическая ткань и внутренняя водопроводящая система. Предки печеночников, которые существовали в одно время с предками псилота, такой ткани не образовали, и в результате их современные представители никогда не достигают высоты больше 3—5 сантиметров. У хвощей ткани очень жестки из-за отложения кремния в их клеточных стенках.

Для размножения всех этих растений характерно чередование полового и бесполого поколений. Псилот, например, высыпает споры из луковицеобразных коробочек, которые сидят на безлистных ветвях. Из спор, попадающих в почву, вырастают крошечные растения, несущие мужские и женские половые органы. Во влажной почве сперматозоиды переносятся водой к яйцеклеткам. После оплодотворения образуется росток и над поверхностью почвы появляется еще одно спорообразующее растение.

У листа небольших плаунов, подобных этому, сохранилось строение, свойственное листу древних растений. Возникновение такого листа означало прогресс, поскольку обеспечивало более высокий уровень фотосинтеза, чем у растений, не имевших листьев.

Молодые хвощи на лесной подстилке устремлены вверх, как минареты. Эти растения сохранили многие черты своих самых ранних предшественников. Рудиментарные листья собраны в темные мутовки вокруг сочленений рифленого полого стебля, а ветви выглядят словно зеленые острия. В девон, 390 миллионов лет назад, хвощи были широко распространены, некоторые из них иногда достигали высоты 9—12 метров.

Папоротники могут быть самых разных размеров: от полусантиметровых водных растений до гигантов, подобных этому экземпляру с острова Таити, достигающему высоты 18 метров.

Первые облиственные растения

Знакомые нам папоротники умеренной зоны — это фактически бесполое поколение (спорофит), эволюционно более развитая форма, имеющая настоящие листья (вайи) и корни. Их листья бывают самой разной формы и размера, на нижней поверхности образуются споры. Стебли большинства папоротников растут непосредственно под поверхностью почвы — горизонтально, хотя у некоторых, как, например, у гигантского древовидного папоротника, они поднимаются вертикально вверх.

У папоротников сохранилось безлистное половое поколение — гематофиты, на нижней поверхности которых возникают мужские и женские половые органы. Яйцеклетки оплодотворяются сперматозоидами только при наличии воды. Оплодотворенная яйцеклетка дает начало новому растению — спорофиту.

Хвойные растения, рассеивающие пыльцу, такие, как эти пихты и ели, успешно выживают в более холодных, сухих или горных районах земного шара.

Первые семенные растения

Хвойные деревья — самые древние из ныне живущих семенных растений. Их появление было большим прогрессом в царстве растений, так как расширило ограниченные возможности размножения растений. Именно у хвойных мужские половые клетки переносятся ветром к женским половым клеткам. Семена полностью вызревают в женских шишках, где они обеспечены запасом пищи и, следовательно, имеют значительно больше шансов выжить, чем споры.

Черноокие рудбекии устремили вверх свои цветки, привлекая ими опыляющих насекомых. Подобно многим другим травянистым многолетним растениям умеренной зоны, они отмирают до корней осенью и образуют новые побеги весной.

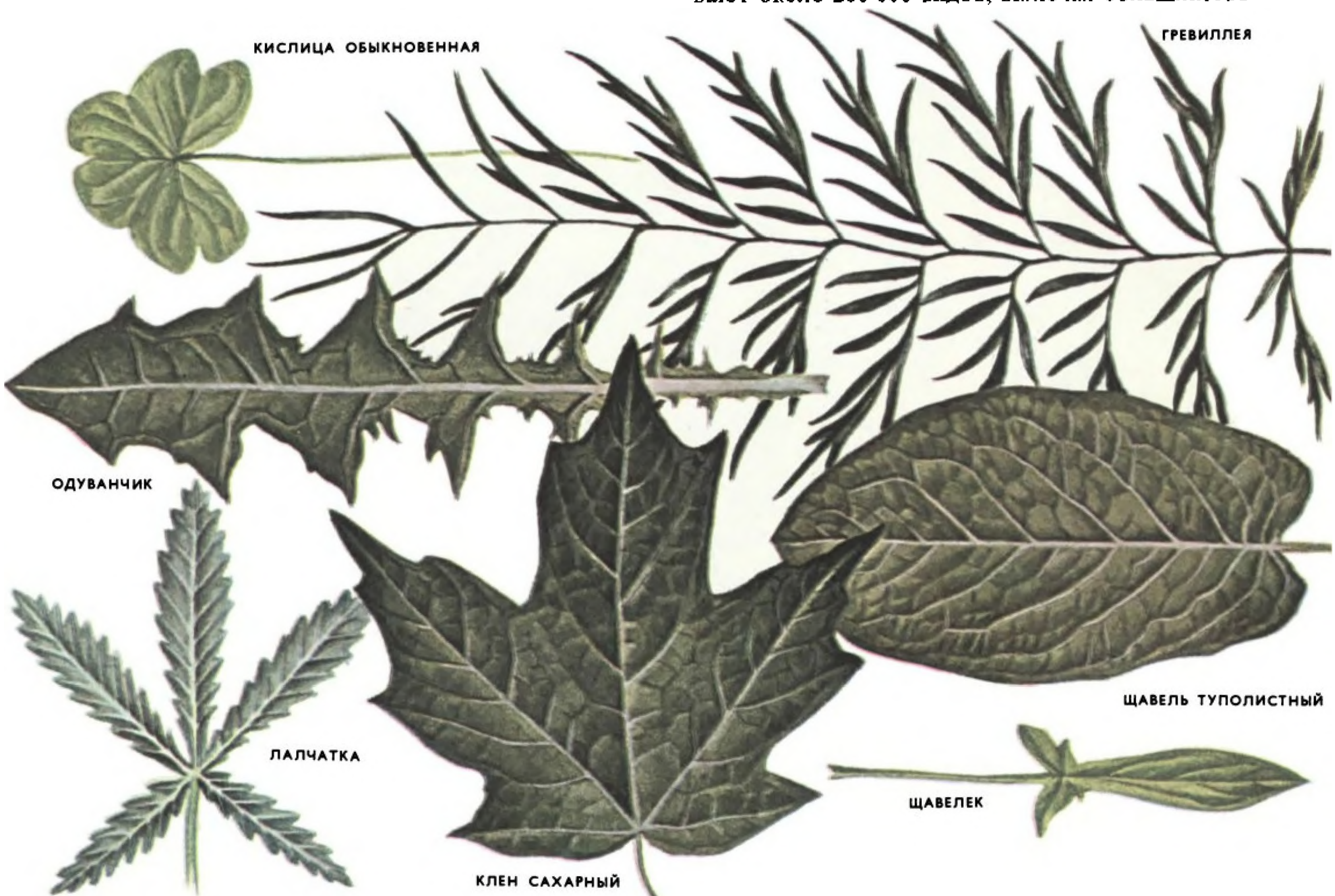
Цветковые растения

Больше половины всех существующих растений относится к цветковым, или покрытосеменным, растениям. Это высшая форма растительной жизни, наиболее разнообразная и широко распро-

страненная. Уникальное образование покрытосеменных — цветок. Цветок намного лучше выполняет функцию воспроизводства, чем раздельные мужские и женские шишки хвойных. Поскольку обычно в цветке есть и пыльца и семяпочки, он может опыляться и ветром и насекомыми; он даже может самоопыляться.

Развитие в сторону упрощения

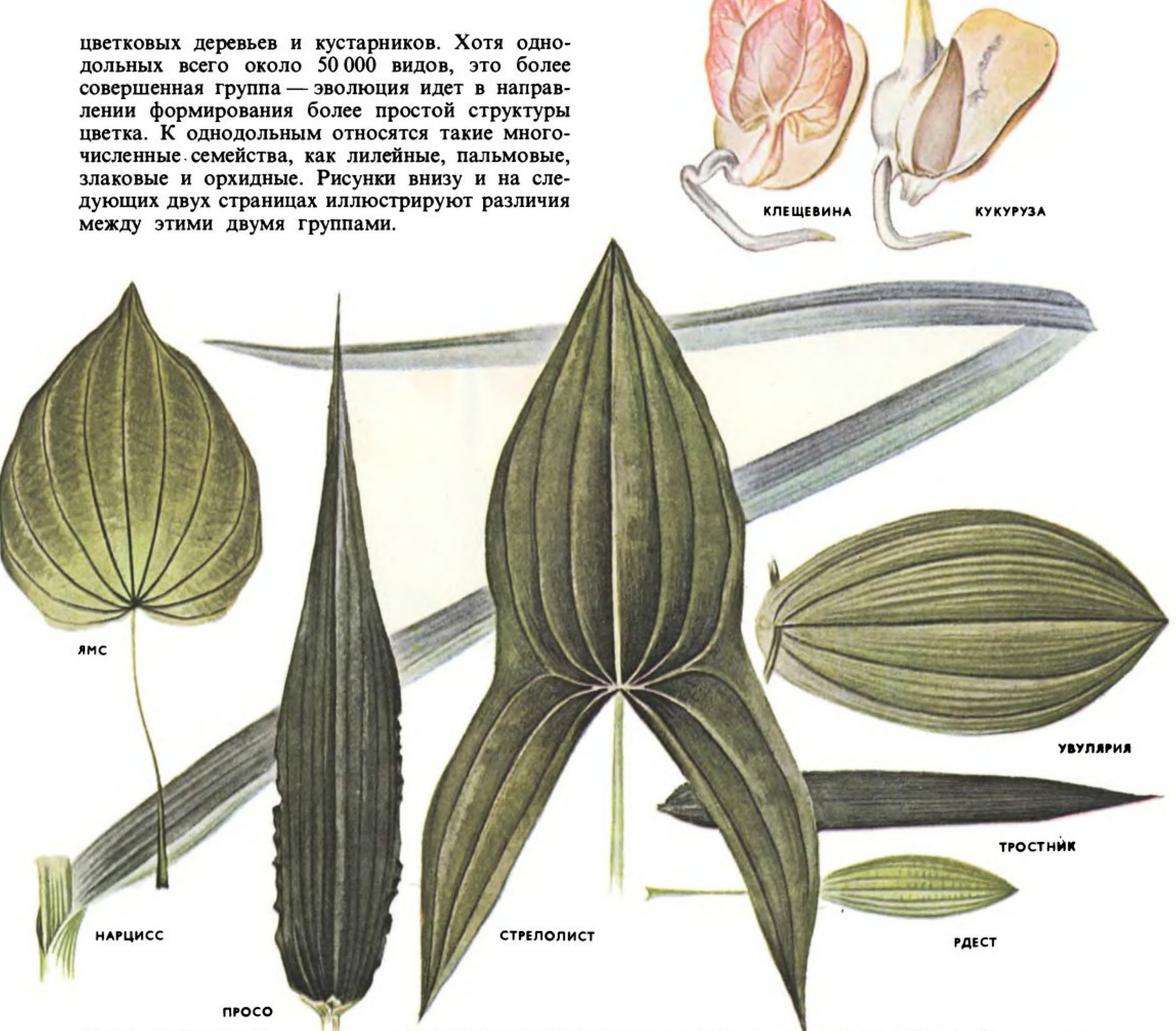
Цветковые, или покрытосеменные, растения делятся на две большие группы — двудольные и однодольные. Сами названия указывают на основное различие этих групп: двудольные (например, бобовые) имеют две или больше семядолей, служащих хранилищем питательных веществ, а однодольные (кукуруза) — только одну. Двудольные многочисленнее однодольных: они насчитывают около 200 000 видов, включая большинство



Листья двудольных могут быть простыми, как у щавеля туполистного, сложными, как у лапчатки, или дважды перистосложными, как у гревиллеи.

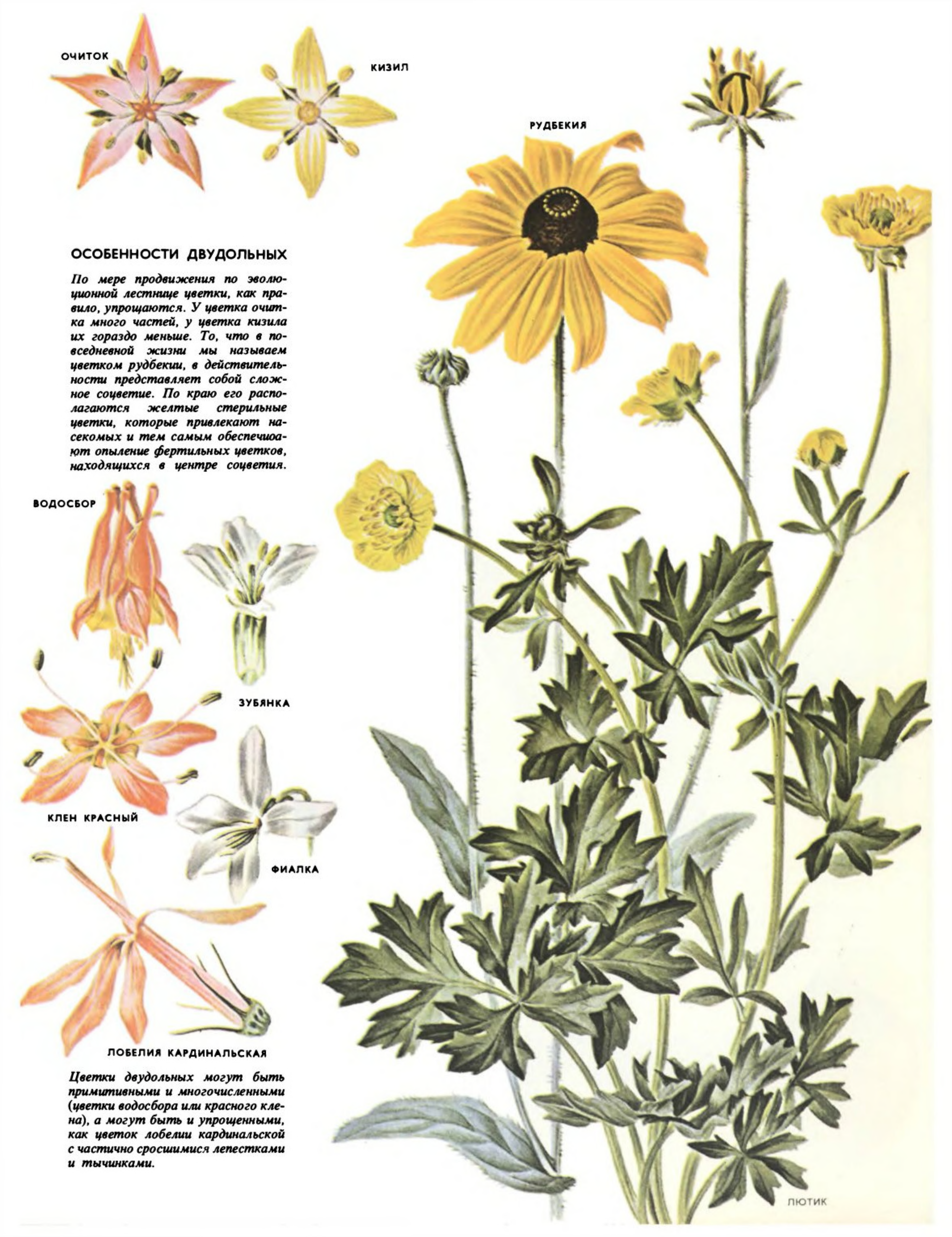
Основные различия между двудольными и однодольными заметны в строении не только листьев и семян, но также и в строении стеблей, корней и цветков. Типичный стебель двудольных имеет сердцевину, где иногда откладываются запасные питательные вещества, древесинную часть, содержащую водопроводящую систему растения, кору и пробку (корку). Стебель однодольных построен гораздо проще, часто мягкий, с нерегулярным расположением сосудистых пучков. У двудольных

цветковых деревьев и кустарников. Хотя однодольных всего около 50 000 видов, это более совершенная группа — эволюция идет в направлении формирования более простой структуры цветка. К однодольным относятся такие многочисленные семейства, как лилейные, пальмовые, злаковые и орхидные. Рисунки внизу и на следующих двух страницах иллюстрируют различия между этими двумя группами.



Листья однодольных отличаются от листьев двудольных параллельным жилкованием, меньшим разнообразием форм и менее изрезанными краями.

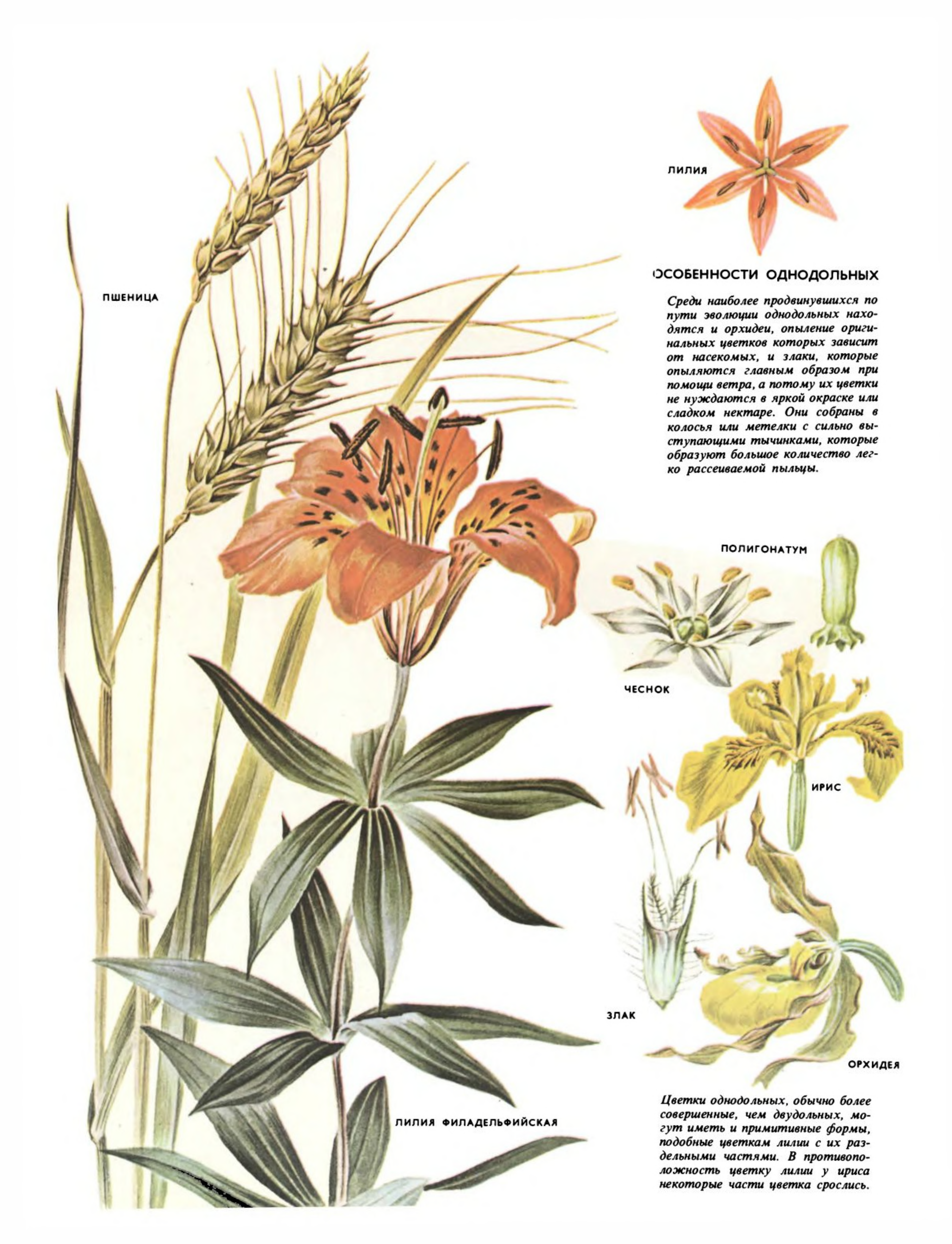
корни обычно одревесневшие, зато корни однодольных, связанные с неодревесневшими стеблями, могут быть чрезвычайно волокнистыми. У некоторых однодольных образуются подземные органы для размножения и хранения питательных веществ — луковицы и корневища. Цветки двудольных обычно имеют четыре-пять лепестков и чашелистиков, а цветки однодольных — три или кратное трем.



ОСОБЕННОСТИ ДВУДОЛЬНЫХ

По мере продвижения по эволюционной лестнице цветки, как правило, упрощаются. У цветка очитка много частей, у цветка кизила их гораздо меньше. То, что в повседневной жизни мы называем цветком рудбекии, в действительности представляет собой сложное соцветие. По краю его располагаются желтые стерильные цветки, которые привлекают насекомых и тем самым обеспечиоают опыление фертильных цветков, находящихся в центре соцветия.

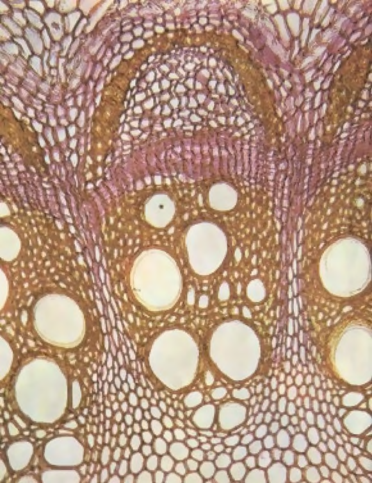
Цветки двудольных могут быть примитивными и многочисленными (цветки водосбора или красного клена), а могут быть и упрощенными, как цветок лобелии кардинальской с частично сросшимися лепестками и тычинками.



ОСОБЕННОСТИ ОДНОДОЛЬНЫХ

Среди наиболее продвинувшихся по пути эволюции однодольных находятся и орхидеи, опыление оригинальных цветков которых зависит от насекомых, и злаки, которые опыляются главным образом при помощи ветра, а потому их цветки не нуждаются в яркой окраске или сладком нектаре. Они собраны в колосья или метелки с сильно выступающими тычинками, которые образуют большое количество легко рассеиваемой пыльцы.

Цветки однодольных, обычно более совершенные, чем двудольных, могут иметь и примитивные формы, подобные цветкам лилии с их раздельными частями. В противоположность цветку лилии у ириса некоторые части цветка срослись.



Клетки камбия (центральная красная полоса на этом срезе стебля ломоноса) участвуют в образовании как крупных сосудов, которые подают воду вверх от корней, так и более тонких трубок, служащих для отвода растворенных сахаров из листьев.

2

Скрытый мир клетки

До XVII столетия человек вообще ничего не знал о микроструктуре окружающих его предметов. Он жил, так сказать, на поверхности физического мира, воспринимая этот мир таким, каким видел его невооруженный глаз. Даже философы едва отваживались затрагивать область, которая не была доступна зрению. Но после 1600 года изобретение оптического микроскопа и тонкое искусство шлифовки линз открыли перед человеком совершенно новый мир, мир микроскопических существ. Это было столь же великим событием, как и открытие в наши дни электроники или атомной энергии.

Одним из самых ранних открытий было обнаружение неоднородности строения растительной ткани. Англичанин Роберт Гук, просматривая под микроскопом тонкие срезы пробки, увидел, что они состоят из большого числа пузырьков, или клеток, как он назвал их (1665 год). И только спустя почти 200 лет, в 1839 году, эти наблюдения были обобщены немецкими биологами Шлейденом и Шванном. В соответствии с созданной ими клеточной теорией тела всех животных и растений состоят из клеток и именно клетка является основной единицей жизни. Клеточная теория имеет такое же основополагающее значение для биологии, как молекулярная и атомная теория для химии и физики. Если молекула — наименьшая частица, обладающая всеми свойствами химического вещества, то клетка — наименьшая единица, наделенная жизнью и всеми свойствами целого организма.

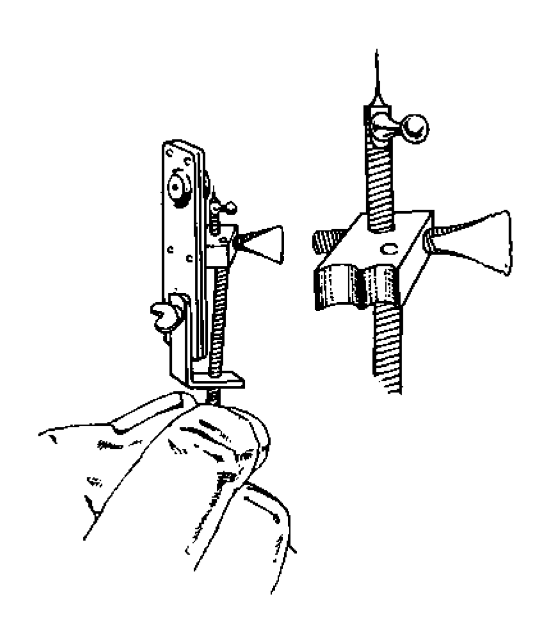
По мере увеличения разрешающей способности микроскопов ученые все глубже проникали в тонкую структуру клетки. Стало очевидным, что именно содержимое клетки является носителем жизни. Доказательств тому немало. Ведь существуют же некоторые примитивные растения, например слизевики. у которых нет клеточных оболочек. Содержимое их сросшихся клеток представляет собой сплошную массу слизи, и только в момент образования спор

слизь разделяется на отдельные клетки, каждая из которых окружена оболочкой. Сходные стадии развития, когда клеточное содержимое не разделено на отдельные клетки, наблюдаются и у некоторых высших растений. Однако, вероятно, самым лучшим доказательством важности этого содержимого клеток является то, что с гибелью растения разрушается и содержимое клеток, хотя остаются целыми их оболочки, — иначе говоря, сохраняется только клеточная структура растения.

Ростовая активность клетки наиболее заметна в точке роста стебля — здесь находятся молодые энергично делящиеся клетки. Такая активная клетка сильно отличается от зрелой клетки растения и во многом напоминает животную клетку. Она невелика (диаметр около $^1/_{800}$ сантиметра), окружена очень тонкой оболочкой и почти целиком заполнена протопластом — веществом, которое служит носителем жизненных свойств клетки. Молодая клетка не просто представляет собой независимую, самоуправляемую химическую фабрику — она содержит всю информацию, необходимую для ее собственного воспроизводства, и даже инструкцию, в какого именно рода клетку ей предстоит превратиться: в корневой волосок, в клетку коры, листа или какую-либо другую. Она имеет собственную силовую установку, дирекцию и техническое бюро, своих специалистов и рабочих. Кроме того, она содержит закодированные матрицы, обеспечивающие создание не только другой такой же клетки, как она сама, но и целого растения, состоящего из миллионов или миллиардов клеток. Наконец, она является своей собственной строительной фирмой, собственным слесарем и собственным монтером, так как реагирует на изменения, происходящие в окружающей среде.

Нельзя не удивляться тому, как много заключено в эту отдельную микроскопическую единицу, и все же должен существовать какой-то минимальный размер для клеток высших растений, ниже которого клетка уже не может выполнять свои функции. Таким минимальным размером, по-видимому, является размер молодых делящихся клеток: и у большого дерева, и у сложного цветкового растения, и у примитивного мха делящиеся клетки всегда примерно одинакового размера, тогда как другие клетки у медленно растущих растений, как правило, крупнее клеток быстро растущих растений.

Намного меньше самой клетки ее главная штабквартира — маленькое круглое ядро, занимающее менее 10% внутреннего объема молодой клетки. За последние 50 лет мы получили убедительные доказательства того, что «информация», нужная для будущего развития — матрицы инструкций для роста, — находится в ядре, точнее, в нуклеиновых кислотах ядра. Остальная часть



ОТКРЫТИЕ НЕЗРИМОГО МИРА

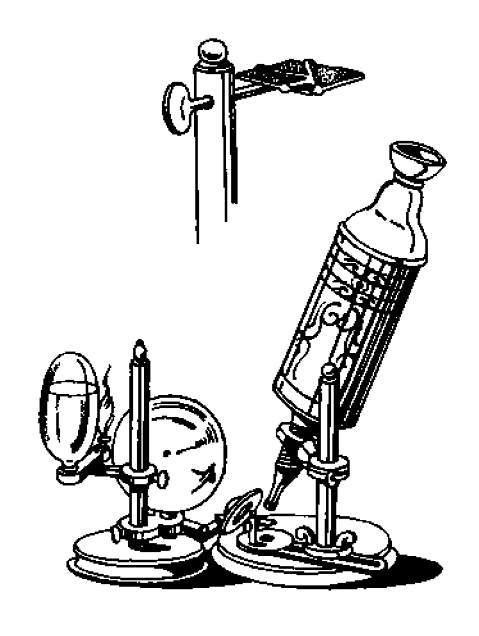
Микроскоп с одной линзой — один из многих приборов, сделанных Антоном ван Левенгуком в конце XVII века. Маленькая линза зажималась между металлическими пластинами (показана стрелкой); сухие объекты приклеивались к кончику иглы (увеличенная деталь справа), для влажных требовались особые устройства. Поворот горизонтального винта и точное регулирование при помощи головки на верхнем винте позволяли фокусировать объект. В качестве источника света Левенгук использовал солнце.

Пять разновидностей простейших растений — бактерии ротовой полости человека — изображены здесь по наброску Левенгука. Он обнаружил их в налете на своих зубах.

содержимого молодой клетки состоит преимущественно из цитоплазмы — сложной коллоидной системы, главным компонентом которой являются белки. Она выполняет специфические функции, вырабатывает и распределяет энергию, необходимую для осуществления всех жизненно важных реакций и процессов. Цитоплазма также подчиняется сигналам, идущим из ядра. По существу клетку можно сравнить с современным заводом, бо́льшую часть которого занимают производственные цеха, а меньшую — административные службы и регистратура.

Начальные стадии роста растений легко наблюдать в зародыше и у самой верхушки развивающегося растения. Он осуществляется почти исключительно путем деления клеток. Мы будем недалеки от истины, сказав, что клетки делятся, образуя стенку, которая проходит приблизительно посередине клетки. Однако на самом деле процесс деления клеток намного сложнее. Прежде всего необходимо, чтобы содержимое клетки разделилось на равные части, так чтобы после деления каждая половина стала полноценной самостоятельной клеткой. В отношении протоплазмы, заполняющей клетку, и многочисленных мелких образований, взвешенных в протоплазме, это не представляет проблемы: при нормальном делении содержимое клетки приблизительно поровну попадает в каждую из новых клеток. Однако в родительской клетке всего лишь одно ядро, в котором заключена вся генетическая информация, необходимая для создания новой «фабрики». Поэтому все «копии чертежей» должны быть поделены таким образом, чтобы в каждой новой клетке имелся их полный комплект. Без этого инструкции в отношении роста новой клетки будут неполными и она не сможет нормально развиваться. Следовательно, решающее значение для продолжения вида имеет механизм удвоения и раздела генетического материала. Действует этот механизм благодаря процессу, который, несмотря на всю свою исключительную тонкость, почти безотказен. Об этом говорит тот факт, что деформации при делении клетки являются исключением, а не правилом.

Процесс, который обеспечивает нормальное деление клетки и ядра, называется митозом. Применяя соответствующие методы окрашивания нуклеиновых кислот, ученые сумели рассмотреть, как происходит деление ядра на две равные доли. Обычно нуклеиновые кислоты свободно распределены в массе ядра, но перед началом митоза они собираются в длинные нити. Эти нити представляют собой хромосомы, цепи генетического материала, которые содержат в себе отдельные гены — основные наследственные единицы, оп-

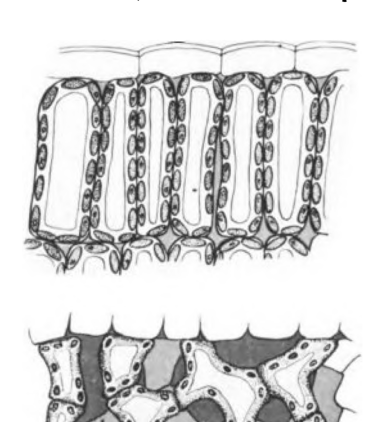


УВЕЛИЧЕНИЕ ВИДИМОСТИ

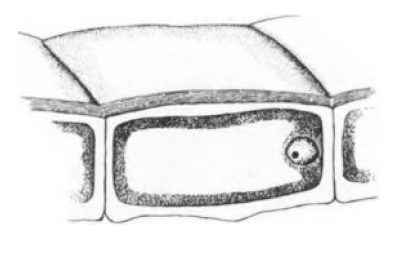
Английский ученый Роберт Гук не только ознакомил интересующихся с миром микроорганизмов в своей книге «Микрофотография», но и усовершенствовал приборы для такого рода исследований. Здесь показан составной микроскоп Гука с очень сложным источником света. Последний представлял собой керосиновую лампу, лучи которой собирал в пучок заполненный водой шар. Вблизи препаровального стола (увеличенная деталь вверху), на котором находился рассматриваемый объект, помещалась линза для фокусирования света.

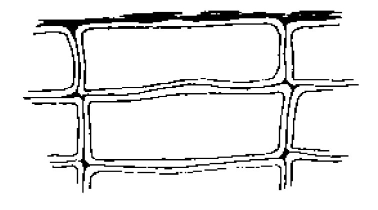
Рисунок Гука, на котором изображены полые иглы и наполненные ядом железистые волоски крапивы.

По мере созревания растительная клетка в соответствии с характером работы, которую ей предстоит выполнять, претерпевает те или иные изменения. На этих страницах показано восемь типов клеток, общих для всех высших растений.



Продолговатые палисадные клетки (вверху), которые осуществляют фотосинтез, размещаются под прозрачным слоем покровной ткани листа. Их светочувствительные пигменты находятся внутри многочисленных хлоропластов (черные точки). Совершенно иную форму имеет губчатый мезофилл — несимметричные, рыхло лежащие клетки, расположенные непосредственно под продолговатыми. Окружая крупные воздушные каналы, они поглощают и выделяют газы в дополнение к своей основной фотосинтезирующей деятельности.





Верхняя и нижняя поверхности листа покрыты прочным слоем тесно уложенных клеток эпидермиса (вверху), которые образуют восковую водонепроницаемую наружную оболочку. В противоположность этому внешняя оболочка одревесневших стеблей и веток состоит из клеток мертвой коры. Этот заполненный воздухом слой может быть толщиной в несколько сантиметров, как у пробкового дуба, или тонким, словно бумага, как у картофельного клубня.

ределяющие такие специфические признаки, как окраска цветка, форма листа, опушенность стебля, число семян и т. д. Каждый ген имеет совершенно определенное место в хромосоме и встречается на ней только однажды. Итак, основными фазами митоза являются: удвоение каждой хромосомы со всеми ее генами и расщепление этих парных хромосом с образованием двух ядер, которые затем будут разделены новой клеточной стенкой. Это происходит следующим образом. Каждая хромосома расщепляется вдоль и образует свой двойник*. Затем происходит расхождение расщепившихся хромосом, в результате чего оба набора хромосом собираются у противоположных концов клетки; образующаяся новая клеточная стенка проходит как раз посередине между ними. Таким образом возникают две целые клетки, каждая со своим собственным набором хромосом, снова собранных в ядро. Затем четко оформленные хромосомные структуры как будто растворяются в ядре, но, конечно, готовы сгруппироваться снова, когда придет время для нового деления клетки, и весь процесс повторится сначала.

Что же заставляет нас думать, что одна клетка хранит в себе программу развития целого растения? Наилучшее тому доказательство — это оплодотворенное яйцо, которое, многократно делясь, постепенно из комочка недифференцированных клеток превращается в зародыш, а затем и в целое растение. Пока никому не удалось заставить яйцеклетку цветкового растения развиваться вне семяпочки, так чтобы весь процесс можно было наблюдать с начала до конца, но нет никакого сомнения в том, как это происходит. Оплодотворенная яйцеклетка дуба — одна клетка! — со временем превращается в целое дерево, яйцеклетка подсолнечника — в полноценное растение, подсолнечник, а яйцо человека — в человека. Больше того, из яйцеклетки дуба всегда вырастает дуб и ничто другое. Из нее никогда не получалось и не получится подсолнечника. Она развивается точно в соответствии с заложенной в ней программой.

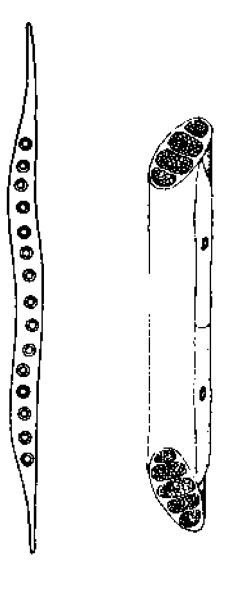
Но довольно об оплодотворенной яйцеклетке; есть факты, доказывающие, что полный набор инструкций содержат также и другие клетки организма. Если срезать лист бегонии и положить его на влажный песок в теплице, некоторые из его клеток начнут делиться в месте среза. По мере деления они образуют что-то вроде бородавки, из которой со временем развивается новое растение. Такой же удивительной способностью обладает и почти половина всех других растений. Причем регенерировать новое растение могут не

* Многочисленные данные говорят о том, что в действительности такого расщепления не происходит и каждая исходная хромосома синтезирует свою точную копию непосредственно около себя.

только листья или черешки листьев, но и отрезки стебля или даже кусочки корня.

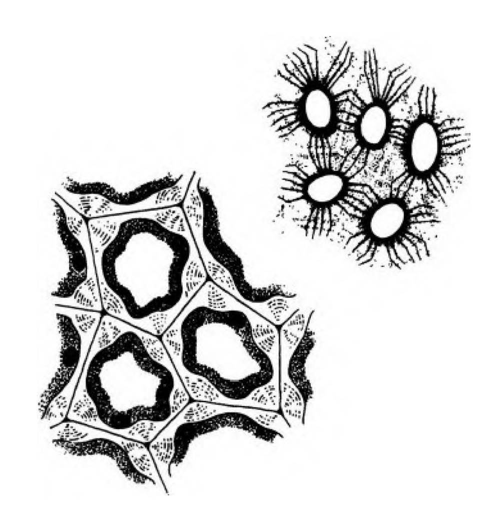
Все, о чем мы до сих пор говорили, рассказывая о процессах, происходящих внутри делящейся клетки, можно наблюдать с помощью светового микроскопа. Но этот прибор не позволяет видеть детали меньше 1/20 000 сантиметра, то есть меньше длины световой волны. Все более мелкое остается невидимым. Световой микроскоп, следовательно, не позволяет увидеть детали строения различных клеточных структур. Их следует рассматривать под микроскопом, пользуясь излучением с гораздо меньшей длиной волны, как, например, у быстрых электронов. Обычно используемое в электронном микроскопе излучение имеет длину волны в 100 раз меньше световой. Таким образом, там, где световой микроскоп бессилен, в дело вступает электронный микроскоп; в настоящее время его обычно используют для выявления деталей, не различимых в световом микроскопе. Однако ему присущ один очень серьезный недостаток: наблюдаемые объекты приходится помещать в вакуум, поскольку электронный луч возникает только в вакууме; разумеется, в таких условиях живые клетки наблюдать не удается.

Протоплазма, которая под световым микроскопом выглядит прозрачной вязкой жидкостью с немногими включениями, такими, как ядро, пластиды и митохондрии, в электронном луче оказывается совершенно иной: она заполнена мелкими частицами, повсюду перекрещена листовидными образованиями и гораздо более сложна по структуре, чем можно было бы предполагать.



Проводящая система растения имеет двойное назначение: одна часть ее проводит воду от корней к листьям, другая — несет растворенные сахара через все растение. Изображенная слева клетка — одно из звеньев в длинном трубопроводе (водопроводящем сосуде), который состоит из таких клеток, соединенных друг с другом. Толстая клетка ситовидной трубки (справа), по которой передвигаются питательные вещества, показана вместе с парой тонких сопровождающих клеток. Ситовидные клетки соединяются концами.

Каждая вновь возникшая растительная клетка по мере старения перестает делиться и начинает раздуваться, подобно воздушному шару. За счет такого увеличения размера клеток и происходит более 90% наблюдаемого нами прироста растений. Клетка поглощает большое количество воды, которая собирается в маленьких вакуолях в центре клетки. Эта вода, обогащенная химическими веществами, представляет собой клеточный сок. Протоплазма, объем которой обычно не меняется в период такого разбухания клетки, отодвигается расширяющимися вакуолями к ее стенкам и распределяется там все более тонким слоем. Вакуоли к этому времени сливаются в одну. Рост за счет увеличения размера клетки — характерное отличие растительных клеток от животных. Последние растут исключительно путем деления и всегда остаются заполненными протоплазмой. Именно по этой причине животные клетки содержат много белка. У растений только молодые клетки, такие, как клетки зародыша пшеницы и ядер орехов или растущих побегов бамбука и сердцевины пальмы, богаты белком, тогда как



Хотя целлюлоза, содержащаяся в каждой клеточной оболочке, и придает некоторую жесткость растению, существуют клетки, обеспечивающие ему механическую прочность и опору. Слева — толстостенные каменистые клетки; из них состоит твердая скорлупа орехов. Справа — долговечные прочные клетки колленхимы, из которой состоят опорные ткани ветвей и стеблей.

взрослые клетки богаты сахарами и минеральными веществами.

Вновь образовавшаяся растительная клетка окружена тонкой и довольно эластичной клеточной оболочкой, способной растягиваться по мере роста клетки. Но, как только клетка достигнет предельного размера, оболочка ее отвердевает и, как правило, утолщается за счет наращивания с внутренней стороны новых слоев вещества стенок. При этом полностью теряется эластичность клеток — вот почему молодые стебли гибкие, а старые жесткие и хрупкие. Поэтому же молодая морковь или молодые стручки фасоли нежнее старых.

Наиболее сильно клеточные оболочки утолщаются в одревесневшей части стеблей и в клетках луба. Твердость древесины целиком обусловлена утолщением клеточных оболочек: чем они толще, тем тверже и тяжелее древесина. Так, у пород с тонкими клеточными оболочками, например у бальсы, древесина очень легкая, а в древесине железного дерева между очень толстыми оболочками ее клеток так мало заполненного воздухом клеточного пространства, что она тонет в воде. У пробки также прочные, но очень тонкие клеточные оболочки, настолько тонкие, что их можно сжать: этим и объясняется, почему пробка легко вгоняется в горлышко бутылки.

Лубяные волокна — это очень длинные тонкие клетки, оболочки которых со временем также утолщаются. Волокна хлопка представляют собой волоски, растущие на наружной поверхности семян хлопчатника, длиной менее 2,5 сантиметра у коротковолокнистого хлопчатника и до 6,25 сантиметра у особо длинноволокнистого. При рассмотрении поперечного среза волокна хлопка под сильным микроскопом видно, что его оболочки состоят из отдельных слоев. Исследования показали, что каждый слой — это суточные отложения на клеточных оболочках. Поскольку толщина слоя зависит от условий, в которых происходил рост в течение дня, волокно хлопка как бы ежедневно регистрирует погодные условия.

Какова роль клетки в формировании внешнего вида растений? Несомненно, важная. Своей формой и расположением клетки определяют облик растения. Так, в стебле растения большинство клеток вытянуты — их длина иногда в 100 раз превышает ширину. А вот клетки клубня картофеля, который представляет собой утолщенный подземный стебель, имеют примерно одинаковую длину и ширину.

Величина растения, как правило, определяется числом его клеток: у высокого растения их много, у низкого — относительно мало. А это значит, что цветковое растение не может быть меньше известного предела: в любом растении высотой меньше полсантиметра уже будет недоставать клеток для построения листьев, стеблей, корней или цветков.

Хотя клетки имеют более или менее одинаковые размеры, они различны по форме. В этом нетрудно убедиться, разглядывая волоски опушения растений, которые могут быть длинными или короткими, заостренными или булавовидными, клетки желез, выделяющие масло или пищеварительные ферменты, и поглощающие клетки (корневые волоски). Когда клетки соединены в ткань, их форму определить труднее, и тогда о ней судят, рассматривая большое число тонких срезов, сделанных в различных направлениях.

Новый метод исследований, недавно (менее 30 лет назад) разработанный ботаниками, расширил наши представления о растительной клетке. Это метод тканевых культур. Культура ткани представляет собой группу или слой однородных клеток, выращиваемых в специальной питательной среде. Чаще всего выращивают ткань каллюса — неорганизованную массу крупных, более или менее округлых клеток, не имеющих какой-либо специфичной формы и не несущих особых функций. Такая ткань обычно образуется на местах повреждения стебля, подобно раневым тканям на порезах пальца. Если срезать кусочек стебля, простерилизовать его и поместить в пробирку с питательной средой, то начнется образование каллюсной ткани. При успешном культивировании бесформенная масса ткани покроет поверхность среза за несколько недель. Если от этой ткани отделить небольшой кусочек и поместить его в новую пробирку с питательным раствором, он очень скоро начнет обрастать новыми молодыми клетками. Кусочки каллюса можно выращивать в культуре бесконечно долго, если в питательную среду добавлять ничтожные количества определенных веществ, в том числе ростовые вещества растений.

В течение последних десяти лет методом тканевых культур выращивали клетки сотен видов растений, и в любом случае, будь то клетки маргаритки, табака или моркови, каллюсные ткани оказывались очень схожими. Тем не менее они неодинаковы. Иногда несколько клеток такой каллюсной ткани начинают дифференцироваться и в конечном счете превращаются в целое растение. Когда это происходит, то каллюс моркови образует абсолютно нормальное и типичное растение моркови, а каллюс табака — растение табака.

Совсем недавно ученым удалось выделить из тканевой культуры одну клетку и вырастить из нее большой каллюс, а затем и целое растение. Этим было убедительно доказано, что воспроизвести целое растение способна не только оплодотворенная яйцеклетка, но и клетка обыкновенной ткани, что окончательно подтвердило клеточную теорию,

сформулированную более столетия назад Шлейденом и Шванном.

Результаты всех этих исследований позволяют сделать вывод, что растение построено из клеток, соединенных в соответствии со строго специфичным планом. Клетки можно сравнить с грудой камней или кирпича: лежат ли они в отдельности или в куче, нельзя заранее сказать, будут ли они использованы для сооружения собора или тюрьмы. Точно так же нельзя заранее сказать, образует ли данная масса клеток растение моркови или табака; между тем архитектурный план, заложенный в каждой клетке, неизменно гарантирует, что из этой клетки получится только то, что в ней запрограммировано.

Клеточная структура растений достаточно хорошо изучена. Анатомы, изучающие строение растений, подробно описали, как клетки соединены между собой в листьях, стеблях и корнях. Рассмотрев кусочек древесины под микроскопом, специалисты могут назвать породу дерева, от которого он отрезан, потому что для каждого растения характерны свои типы клеток и их расположение. Столь же легко определить, листьями какого сорта табака начинены сигареты и не подмешаны ли к чаю листья других растений.

Хотя расположение клеток древесины, коры и пробки узнать нетрудно, мы до сих пор не имеем представления о том, каким образом это распределение осуществляется в развивающемся растении, и даже о том, как разные клетки принимают свою особую специфическую форму. Однако несколько вех, облегчающих поиски объяснения, уже установлено.

Чтобы вырастить методом тканевой культуры маленький кусочек корня, нужно взять достаточно длинный исходный отрезок корня. Если он будет слишком коротким — всего один миллиметр, — мы получим не корень, а недифференцированную каллюсную культуру, а вот отрезок в два или три раза длиннее будет продолжать расти как корень. Таким образом, новые клетки будут принимать очертания корня только в том случае, если взят такой его кусочек, который бы мог продолжать дифференцироваться как корень.

На первый взгляд это, казалось бы, противоречит тому, что мы выяснили несколько раньше. Если кусочек корня должен быть больше какой-то минимальной величины, то каким образом одна яйцеклетка намного меньшего размера вырастает в целое растение, а не превращается в комок клеток, подобный каллюсу? Это тем более загадочно, что в начальных стадиях роста яйцеклетка действительно вырастает в комок недифференцированных клеток, очень похожих на каллюс. Но, оставаясь в семяпочке материнского растения, она со временем превращается в зародышевое растение с семядолями и корешком. Единственное предположение, которое можно сделать, заключается в том, что именно пребывание зачаточного растения в семяпочке материнского растения способствует его превращению из комка клеток в семя.

Однако на примере орхидей мы видим, что это не совсем так. Зрелое семя орхидеи, уносимое ветром с материнского растения, представляет собой комок недифференцированных клеток. Если оно попадает в благоприятную для прорастания почву или если его помещают в пробирку с питательной средой, то оно начинает увеличиваться в объеме, все еще не дифференцируясь. Комком клеток, похожим на кусок каллюсной ткани, оно остается до тех пор, пока не достигнет в диаметре 1,6 миллиметра. Затем по какой-то пока не известной нам причине в строго определенном месте появляются крошечные листок и корешок и из них развивается целое растение орхидеи.

Все это очень похоже на то, что иногда происходит в культурах каллюсной ткани. Определенные клетки в определенное время могут в любом месте каллюсной ткани превратиться в клетки листа, стебля или корня, и формируется целое растение. Истинные причины подобной дифференциации остаются крайне неясными. Возможно, все дело в равновесии определенных ростовых веществ вроде кинетина, который, по-видимому, влияет на многие из тех процессов, на которые влияют растительные гормоны.

В какой-то мере с той же проблемой мы сталкиваемся, пытаясь разобраться в факторах, которые регулируют развитие гриба на нитевидных образованиях, или гифах. Мы можем вырастить в культуральных сосудах плотный покров этих гиф, ни разу не добившись образования шляпочного гриба, который представляет собой по существу плодовое тело гриба. Но вот на случайно положенной в сосуд веточке начинает развиваться шляпочный гриб. Однако, повторяя опыт, никогда нельзя быть уверенным в том, что он опять будет успешным. Грибы чрезвычайно капризны и почти не поддаются культуре: мы просто не знаем, как заставить расти плодовые тела на массе гиф в культуральной грядке. В промышленном масштабе культивируется всего один вид съедобных грибов — шампиньоны *Agaricus campestris*, постоянно образующие плодовые тела на культуральном субстрате, да на Яве разносчики продают на улицах шляпочный гриб *Volvaria*, который растет на рисовой соломе.

Крайней специфичностью условий, вызывающих формирование шляпочных грибов на их гифах, объясняется нерегулярность, с которой грибы встречаются в природе. Несмотря на то что гумусный слой лесной подстилки всегда пронизан гифами, грибы редко растут в изобилии, а в некоторые годы и вовсе не встречаются.

Теперь остается отметить, что в организме растения существует строгое разделение труда между различными типами клеток. Клетки, находящиеся в листьях и наполненные хлоропластами, осуществляют жизненно важный процесс фотосинтеза, превращая световую энергию в химическую; другие клетки выполняют различные функции в стебле и корнях. Среди них наиболее интересны клетки проводящей ткани: сосудов древесины, которые проводят воду и растворенные в ней соли от корней через все растение, а также ситовидных трубок, по которым перемещаются сахара из листьев.

Первые ученые, которые рассматривали под микроскопом водопроводящие сосуды древесины, нашли у них сходство с трахеями человека, и эта ошибка привела к сохранившейся до сих пор неточности в терминологии. Трахеи человека предохранены от спадания кольцами хрящей, укрепляющими их стенки; подобным же образом укреплены и водопроводящие сосуды древесины. Предполагая, что они тоже служат для подачи воздуха, их и назвали трахеями. На самом же деле они пропускают не воздух, а только воду и растворенные в ней питательные вещества. В одной из следующих глав мы подробно поговорим о водопроводящей системе. Пока же нас интересует лишь то, как эти трубки образуются из клеток растения.

Трахеи древесины, то есть водопроводящие сосуды, представляют собой трубки диаметром до одного миллиметра и длиной в среднем около 30 сантиметров. Правда, иногда они достигают 90 и больше сантиметров. Таким образом, каждая из трахей в тысячу раз длиннее любой обычной клетки. Именно поэтому долгое время полагали, что трахеи — исключение из правил клеточной теории.

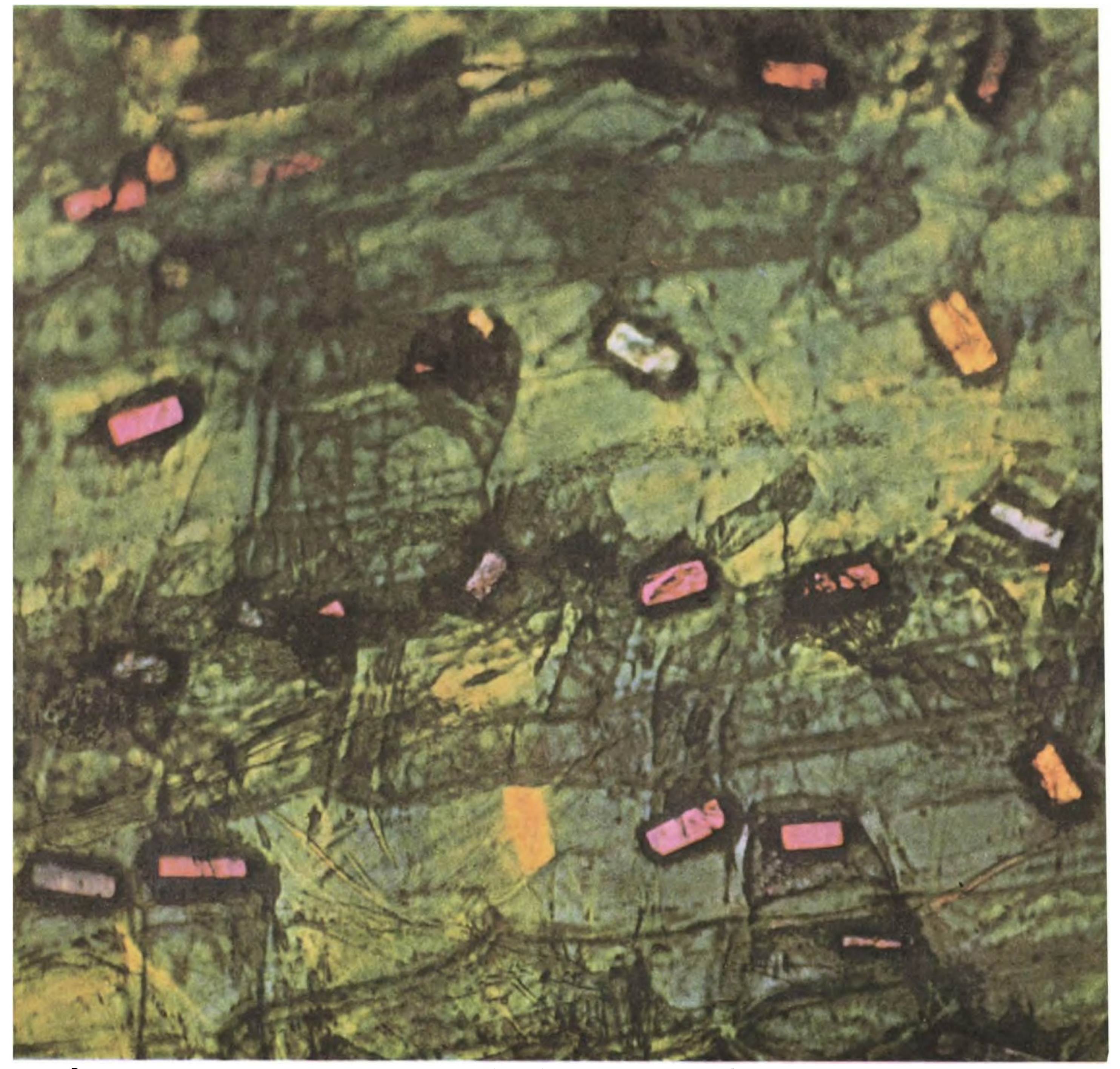
Однако на ранней стадии развития такая трубка представляет собой простой ряд длинных клеток, расположенных одна над другой и имеющих совершенно одинаковый диаметр. В процессе развития сосуда соприкасающиеся стенки в столбике клеток растворяются и образуется одна длинная трубка. В конечном итоге все живое содержимое клеток — цитоплазма, ядро и другие включения — отмирает и остаются полые трубки, заполненные водой.

Совершенно очевидно, что для создания одной такой трубки требуется очень большое число клеток. Поскольку длина средней клетки стебля меньше одного миллиметра, для образования сосуда длиной 90 сантиметров требуется слияние примерно 1000 клеток. Каждое растение — от маленького цветка до большого дерева — имеет соответствующее число таких трубок, собранных в пучки и поднимающихся до любой высоты. Определить длину каждой отдельной трубки в стебле или в ветви нетрудно: для этого нужно просто присоединить при помощи резиновой трубки кусок стебля к водопроводному крану, пустить воду и проследить, будет ли она выделяться из другого конца стебля. Если вода не появляется, нужно осторожно, раз за разом отрезать по небольшому кусочку стебля. Начало просачивания воды позволит нам определить с известным приближением длину сосуда. У таких стелющихся растений, как тропические лианы, она может достигать нескольких метров, у деревьев — 90 сантиметров, а у кустарников и травянистых растений не превышает 30 сантиметров.

Поскольку поперечные стенки клеток, из которых образовались трахеи, растворились, вода беспрепятственно движется по трубке. Но как она переходит из сосуда в сосуд в стволе высокого дерева? Для ответа на этот вопрос рассмотрим стенку между сосудами. Оказывается, что стенка не однородна, в ней имеется ряд крошечных углублений. В каждом таком углублении стенка клетки очень тонка и образует водопроницаемую перепонку, растянутую между более толстыми частями стенки. Вот почему все соединенные в колонку трубки могут пропускать воду и функционировать как одна трубка.

Но растению приходится перемещать на большие расстояния не только воду; в противоположном направлении от листьев вниз к стеблю и корням идет отток выработанного в листьях сахара. Ясно, что водопроводящие сосуды не могут служить для этой цели: они не приспособлены к двустороннему движению; кроме того, поскольку они не содержат протоплазмы, удерживающей сахара в живой клетке, сахар диффундировал бы из них.

Перенесение сахара из листьев в клетки стебля, корня, цветков и плодов осуществляется при помощи ситовидных трубок, которые формируются из живых клеток коры. Сахар течет из одной трубки в другую сквозь клеточную стенку с мельчайшими порами — пластинку вроде сита. Эта ситовидная пластинка (мембрана), кроме того, действует как клапан, регулирующий передвижение сахара: если поток слишком велик, поры закрываются. Из-за этого растение не «истекает кровью», когда его кора порезана или повреждена. Тли, питающиеся сахаром травянистых растений и деревьев, умело используют единственную возможность извлечь его. Они пробуравливают своим хоботком ситовидную трубку, и сок просто вливается в них — тли как бы вскрывают «нефтяной фонтан». Когда их тела переполняются сахаром, его избыток вытекает наружу в виде медвяной росы.



В поляризованном свете некоторые из многочисленных, обычно бесцветных кристаллов, образующихся в клетках луковой шелухи, светятся красным и желтым светом.

МИКРОСКОПИЧЕСКАЯ МАСТЕРСКАЯ

Клетка — наименьшая живая часть растения. Она не только воспроизводит себя, но, кроме того, проектирует и создает ткани, которые образуют скелет и защитную внешнюю оболочку, снабжает растение водой и питательными веществами и обеспечивает их хранение. Из клеток, как основного элемента жизни, состоят самые разнообразные виды растений, развиваясь в каждом случае по уникальному внутреннему плану, который приводит к созданию либо сосновой иглы, либо листа злака, либо шляпки гриба.

Анатомия растительной клетки

Все растительные клетки имеют ядро и цитоплазму (то есть протоплазму, находящуюся вне ядра), которая включает остальные клеточные образования, в том числе и такие, которые отсутствуют в цитоплазме животной клетки. К ним относятся пластиды различной формы и величины, содержащие либо незаменимый для фотосинтеза зеленый хлорофилл, либо каротиновые пигменты, выполняющие несколько иные функции. Расположенные в центре клетки вакуоли по мере ее старения наполняются клеточным соком и, увеличиваясь, растягивают ее эластичную оболочку. Обмен веществ между клетками происходит через мельчайшие отверстия клеточной мембраны. Цитоплазма клетки со всеми ее включениями находится в постоянном движении.

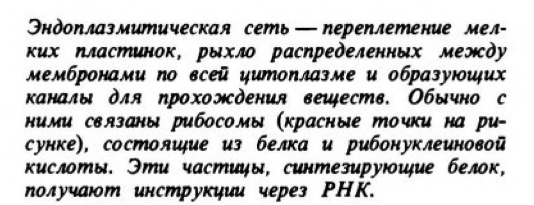
Ядро, заключенное в проницаемую оболочку, содержит молекулы двух типов нуклеиновых кислот: дезоксирибонуклеиновой, или ДНК, и рибонуклеиновой, или РНК. Они и определяют «лицо» растения. ДНК, содержащаяся в хромосомах, служит носителем генетического кода. При каждом клеточном делении происходит самовоспроизведение ДНК. Информация, заключенная в ДНК, передается РНК, а через нее — небольшому круглому ядрышку. Оттуда информация поступает в цитоплазму, опроделяя функции клетки.

Митохондрии продставляют собой энергетические органоиды клетки. Они содержит белки и являются буквально «силовыми станциями», где происходит расщепление углеводов, жирных кислот и аминокислот с высвобождением энергии и последующим превращением ее в аденозинтрифосфат, или АТФ, — важный фактор во многих роакциях, включая синтез ферментов. Митохондрии пронизаны складчатыми внутронними перегородками, увеличивающими поверхность, на которой могут происходить реакции.

Хлоропласты — это самые крупные цитоплазматические включения, характерные для клеток стебля и особенно листьев. Они содержит зеленый пигмент, который при фотосинтезе поглощает солнечную энергию, используя ее для превращения углекислоты в сахар, источник химической энергии и пищи для растения. Число хлоропластов увеличивается путем их расщепления независимо от деления ядра.

Каротиновые хромопласты придают хароктерную окраску моркови и томатам, спелому перцу, плодам цитрусовых и лепесткам многих цветков. Они могут быть разного цвета — от желтого до темно-красного; их химические функции в растении еще недоститочно выяснены.

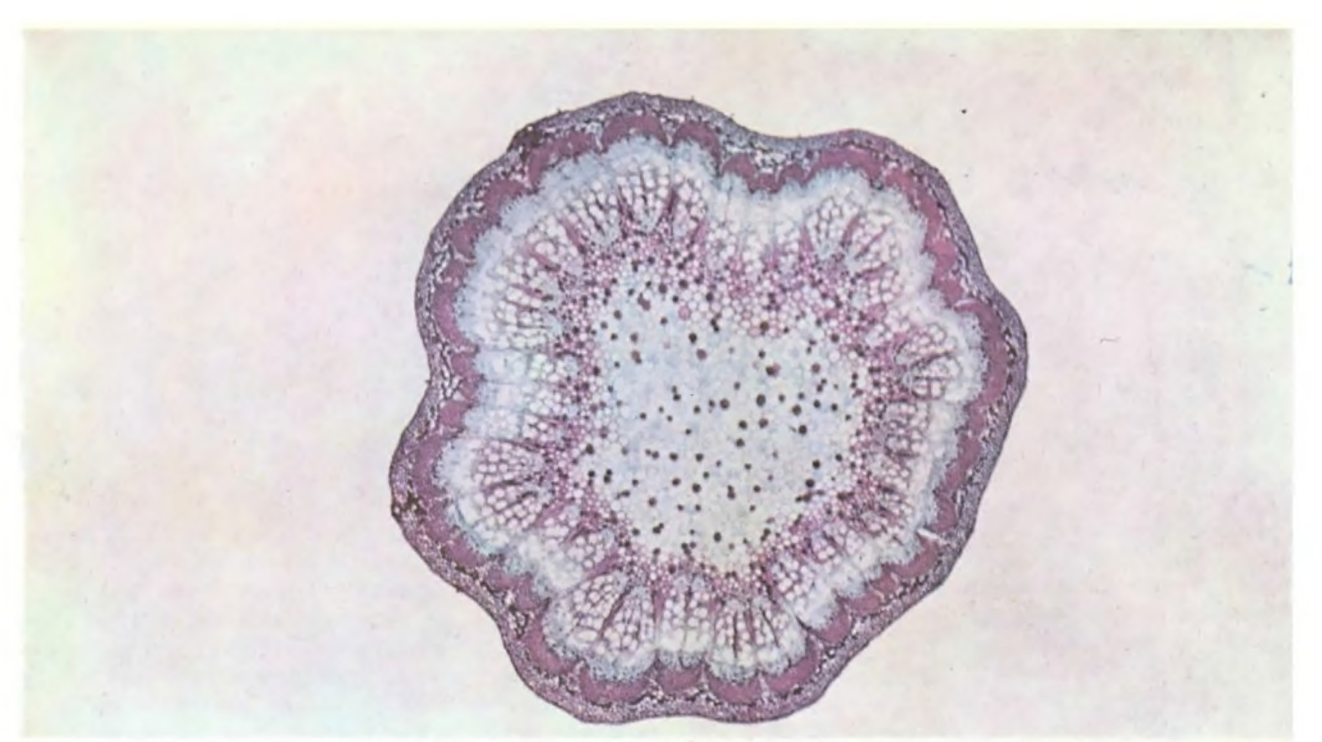
Тельца Гольджи, представляющие собой пучки крошечных образований, заполненных жирами и белками, могут функционировать как своего рода химические кладовые клетки. На их поверхности накапливаются, а возможно, и конденсируются различные ферменты и другие вещества. Когда скорость обмена возрастает, эти тельца увеличиваются, но их истинная роль в растениях все еще не ясна.



Эндоплазмитическая сеть — переплетение мелких пластинок, рыхло распределенных между мембронами по всей цитоплазме и образующих каналы для прохождения веществ. Обычно с ними связаны рибосомы (красные точки на рисунке), состоящие из белка и рибонуклеиновой кислоты. Эти частицы, синтезирующие белок, получают инструкции через РНК.

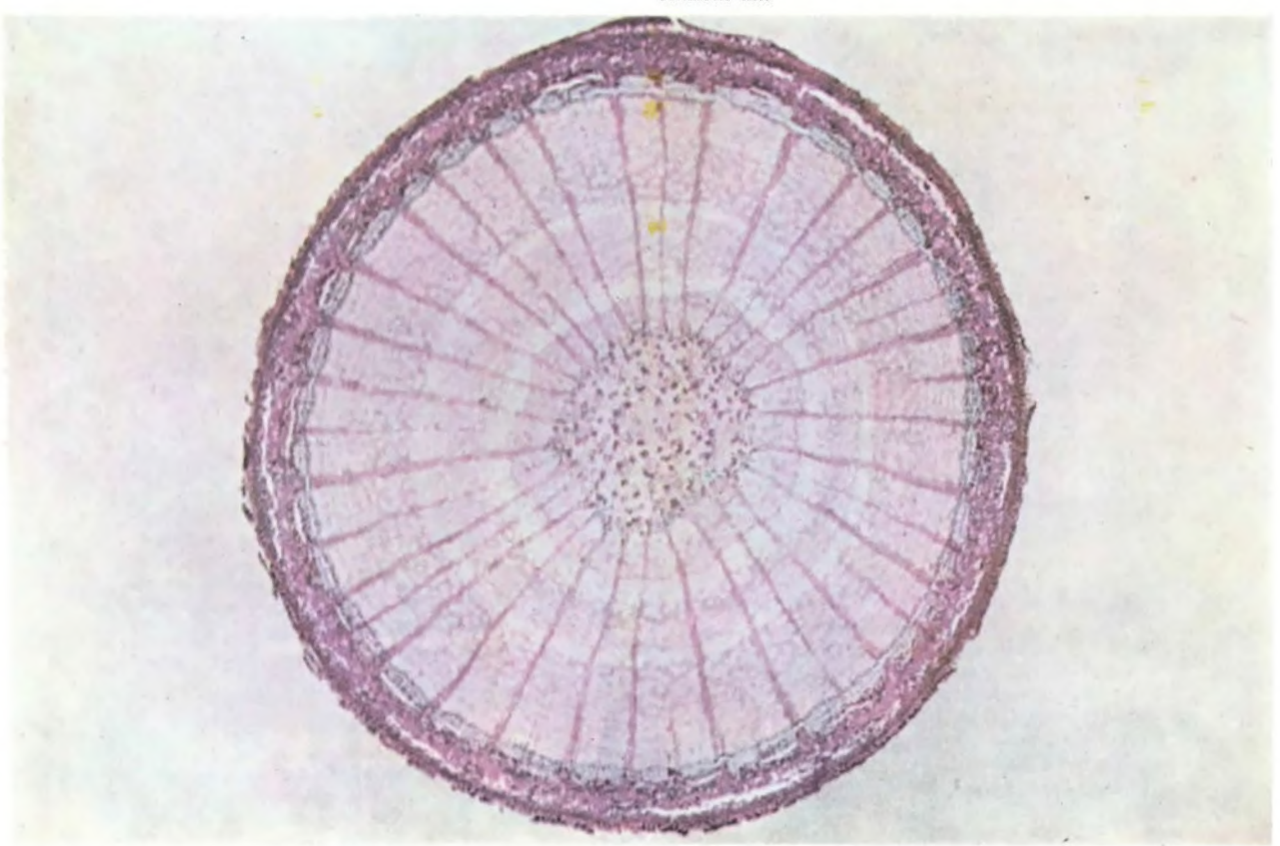
Крохмальные зерна — емкости для хранения пищевых ресурсов клетки. Эти зерна, состоящие из слоев кристаллических углеводов, имеют различную форму в зависимости от вида растения. Большая часть крохмала накапливается в зрелых тканях, в стеблях, клубнях и плодах.

Клеточные стенки — тонкие, многослойные и на ранних стадиях довольно эластичные. Основной слой, оброзующийся во время деления клетки, состоит главным образом из пектина, хорошо известного вещества, которое обеспечивает процесс желатинирования. Его задача состоит в связывании соседних клеток. После деления каждая из новых дочерних клеток образует внутреннюю оболочку из целлюлозных фибрилл, которая растягивается по мере роста клетки. Со временем в зрелом растении оболочки становятся толстыми и неэластичными.



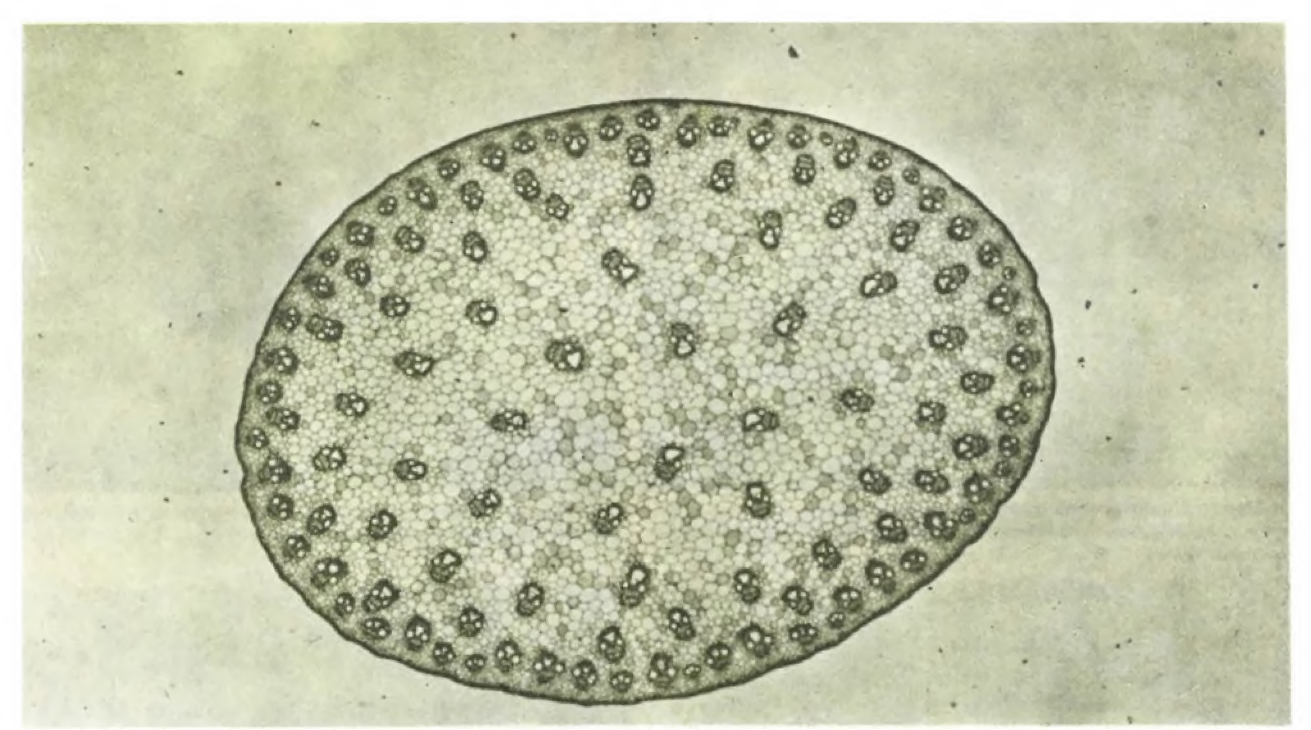
Поперечный срез ствола молодого платана (вверху), типичного двудольного растения, с кольцом ксилемы (древесины) и проводящими сосудами вокруг сердцевины.

На поперечном срезе ствола более старого платана (внизу) видны годичные кольца, по мере образования которых увеличивается диаметр ствола. Сердцевинные лучи радиально пересекают их.



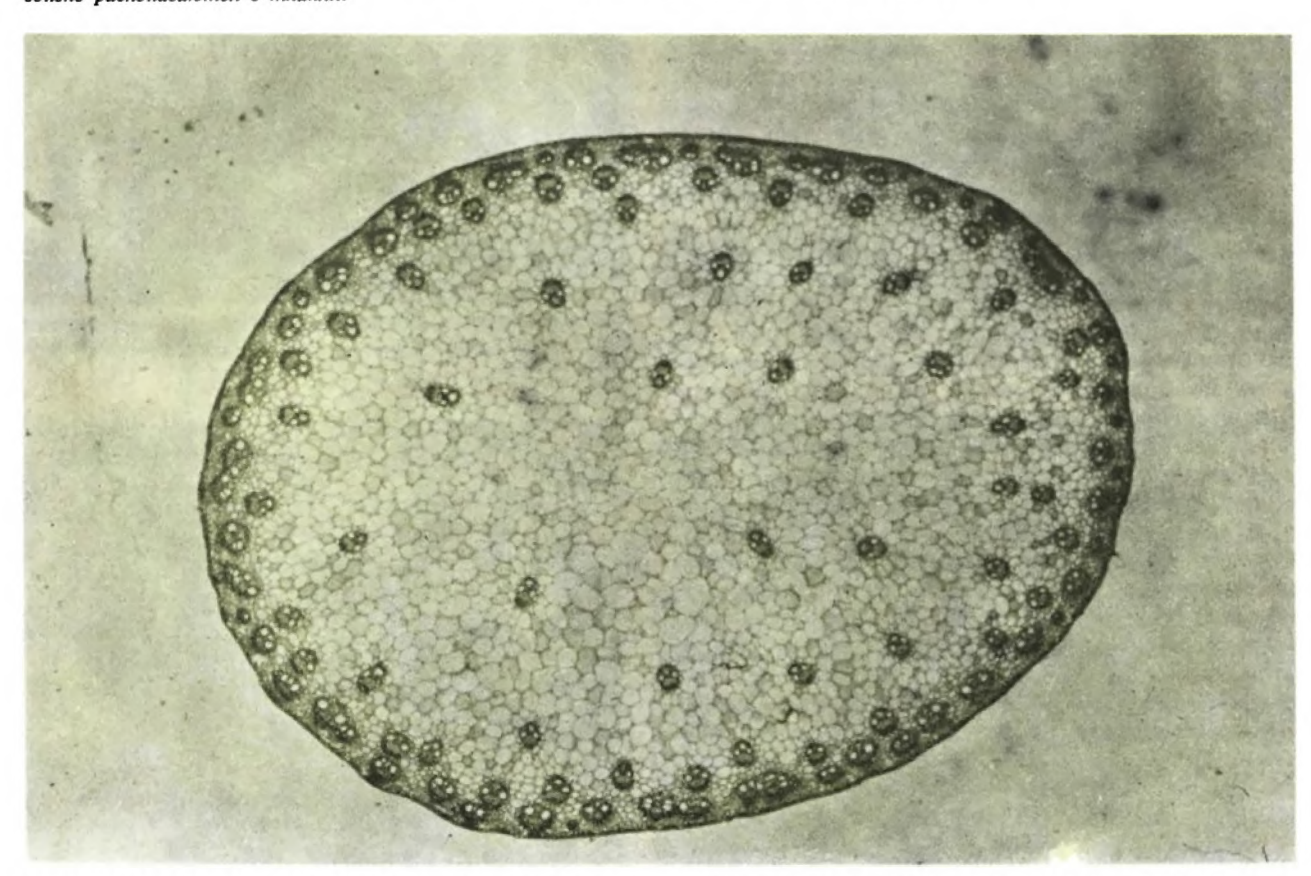
Архитектура и проводящие системы стебля

В сложном процессе формирования растения клетки точно следуют внутреннему «архитектурному плану». Две большие группы цветковых растений, двудольные и однодольные, различаются структурой своих стеблей и проводящих систем, непрерывно обеспечивающих растение водой и питательными веществами. У двудольных, кото-

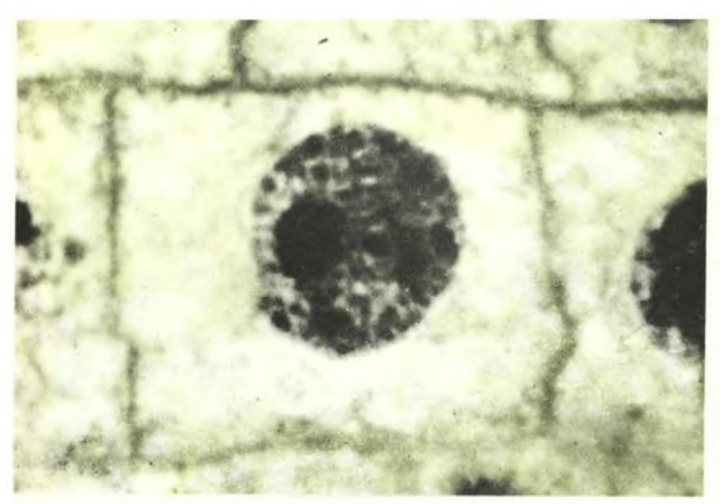


Стебель молодой кукурузы (вверху), типичного однодольного растения, не имеет сердцевины. Его сосудистые пучки произвольно располагаются в тканях.

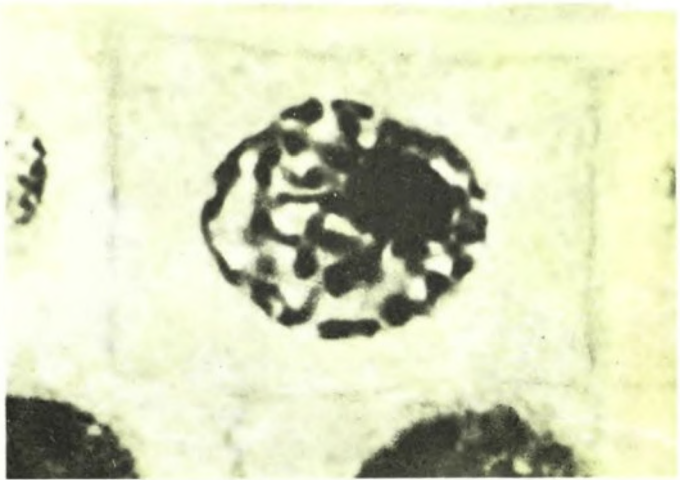
И у более старого стебля кукурузы сохраняется такой же тип размещения сосудов (внизу).



рые включают столь различные виды, как лютики, маки и многие лиственные породы, стебли утолщаются путем деления клеток, что приводит к образованию новых колец древесины вокруг сердцевины. По мере созревания растения между сердцевинными лучами образуются сосуды, проводящие воду и питательные вещества. Для однодольных такое концентрическое строение, как правило, не характерно: диаметр стеблей увеличивается в результате разрастания клеток; сосудистые пучки произвольно распределены в относительно мягкой ткани.



1. Перед самым делением ядро клетки из точки роста корня лука представляет собой клубок тонких нитей — хромосом, несущих гены.

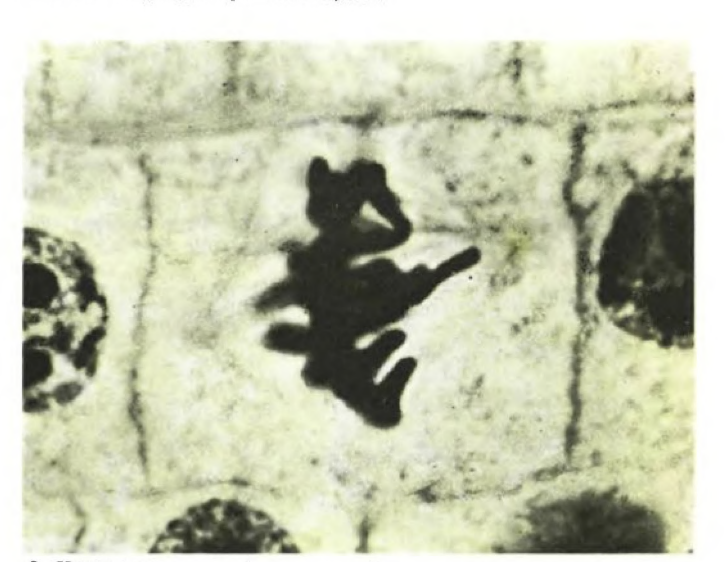


2. В начале митоза хромосомы молекула за молекулой удваиваются и образуют рыхлый клубок.

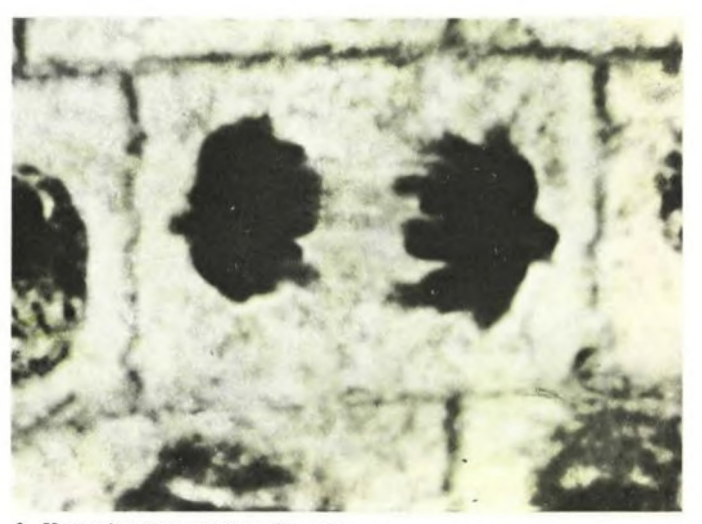
Митоз: деление клетки

Рост растений в основном происходит за счет простого набухания и удлинения клеток по мере поглощения ими поступающей из корней воды. Но в определенных участках, таких, как точки роста развивающихся стеблей и корней, рост идет за счет увеличения числа клеток в результате их деления, или митоза.

Деление клетки может быть вызвано либо увеличением количества цитоплазмы, что неизбежно связано с синтезом определенных химических соединений, либо специфическим химическим воздействием. В подготовительном периоде размеры ядра не больше обычных, но в нем происходит постепенное накопление хромосомного материала. Каждая хромосома синтезирует около себя свою копию. Затем длинные нити хромосом спирализуются и благодаря этому уплотняются в компактные образования — начинается митоз. В конечной фазе митоза, после того, как удвоившиеся хромосомы разделились и разошлись, создав два новых ядра, цитоплазма делится клеточной перегородкой приблизительно пополам. При этом образуются две дочерние клетки, наследующие полную программу дальнейшего роста и организации растения. В зависимости от вида растения митоз длится от получаса до двух часов; за ним следуют увеличение размера клетки и ее новое деление. Из двух клеток получаются четыре, из четырех — восемь и так далее в геометрической прогрессии. Однако, когда растение достигает свойственных ему размеров, деление клеток постепенно замедляется и в конечном итоге происходит только в специализированных тканях корней, стебля, листьев и органов размножения.



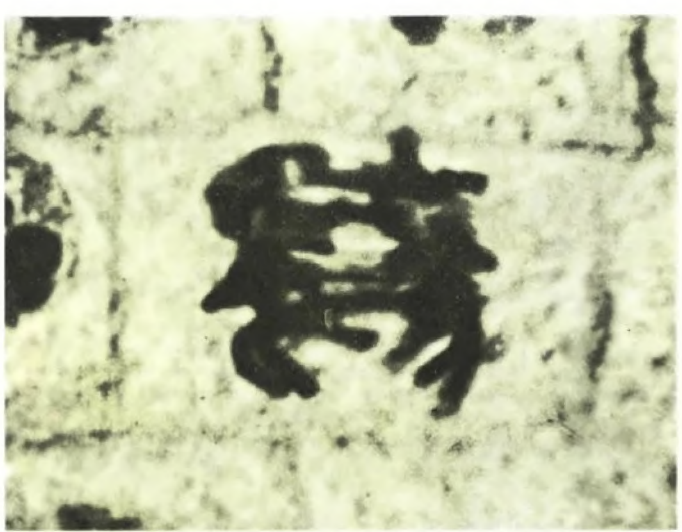
5. Через минуту каждая хроматида кажется прикрепленным к одному из волокон веретена, и хроматиды-близнецы начинают разделяться.



8. Через две-три минуты длинные волокна веретена начинают разрушаться, и формируются новые ядра.

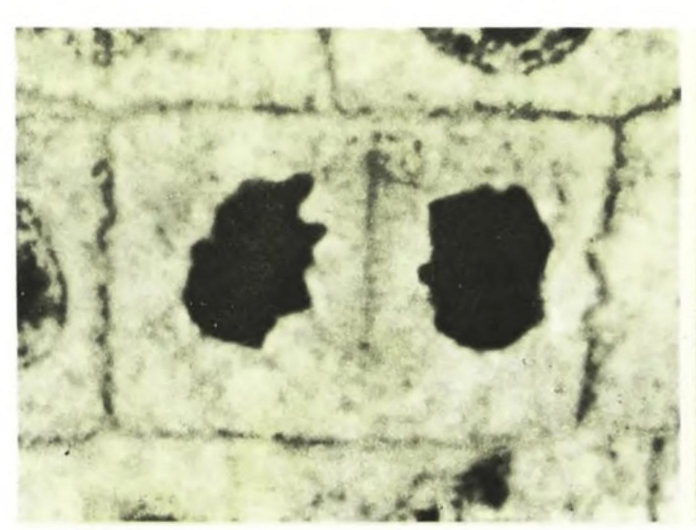
3. Примерно через час изогнутые половинки, или хроматиды, уплотняются, а остаток ядра растворяется.

4. Теперь на разных полюсах клетки образовались почти невидимые волокна, и хроматиды выравниваются в центре

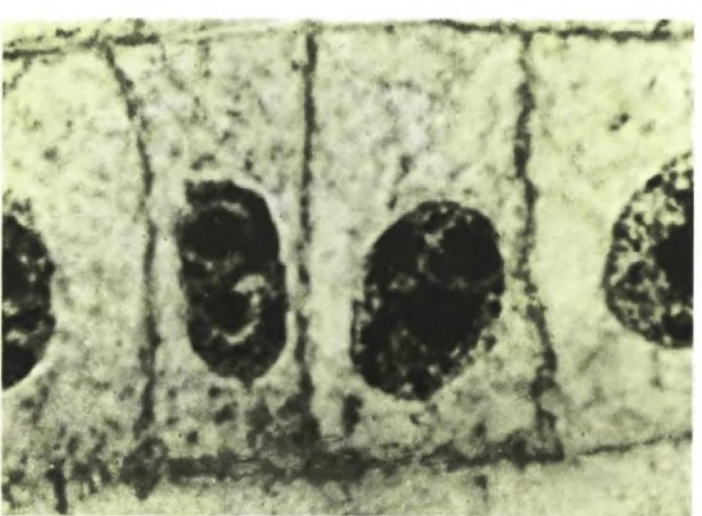


6. Волокна укорачиваются, и хроматиды отходят к противоположным полюсам клетки.

7. После отхода к полюсам половинки хроматид становятся отдельными, самостоятельными хромосомами с полным набором генов.

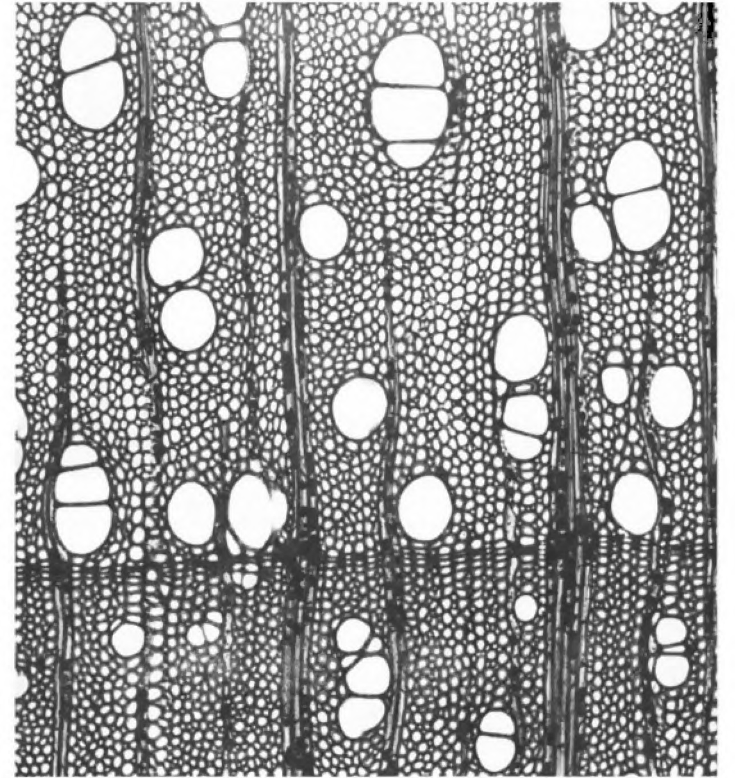


9. В течение следующих четырех минут образуется перегородка, или клеточная мембрана, которая разделяет новые ядра.



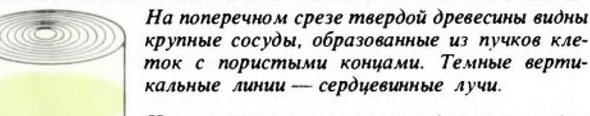
10. Разрастаясь и доходя до оболочки первоначальной клетки кончика корня, новая стенка заканчивает разделение двух дочерних клеток.

Клен серебристый.



Твердая и мягкая древесина

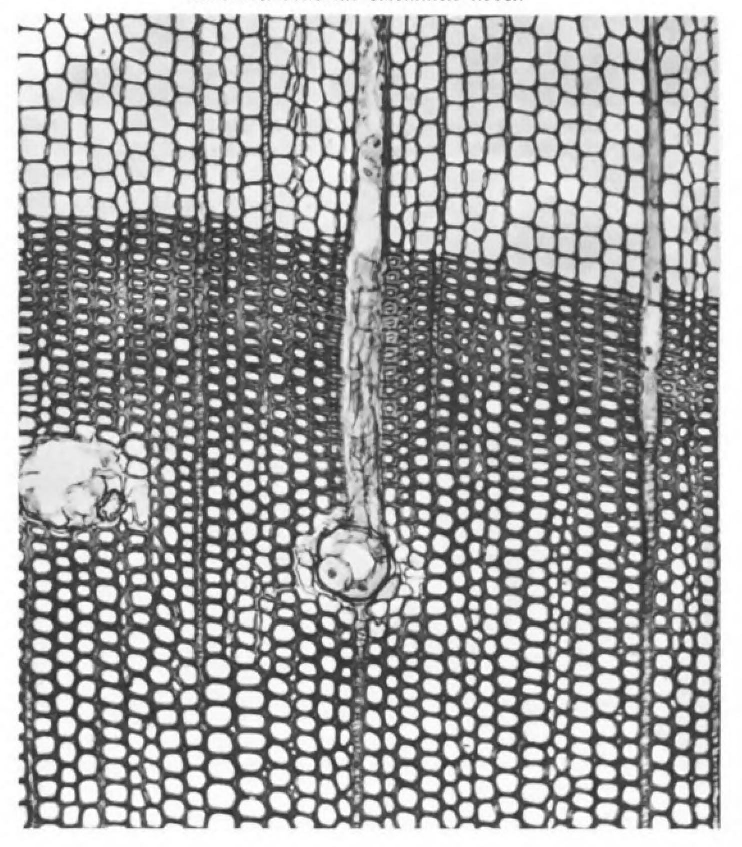
Многие из медленно растущих листопадных деревьев, таких, как клен или дуб, имеют более твердую и прочную древесину, чем быстро растущие хвойные. Это дало повод называть их твердыми породами в отличие от мягких. Причина твердости древесины одних и ее мягкости у других деревьев кроется в их клеточной структуре и зависит от природы сокопроводящих сосудов и сердцевинных лучей. На представленных микрофотографиях твердой древесины клена серебристого и мягкой древесины сосны ломкой эта разница в структуре хорошо заметна.

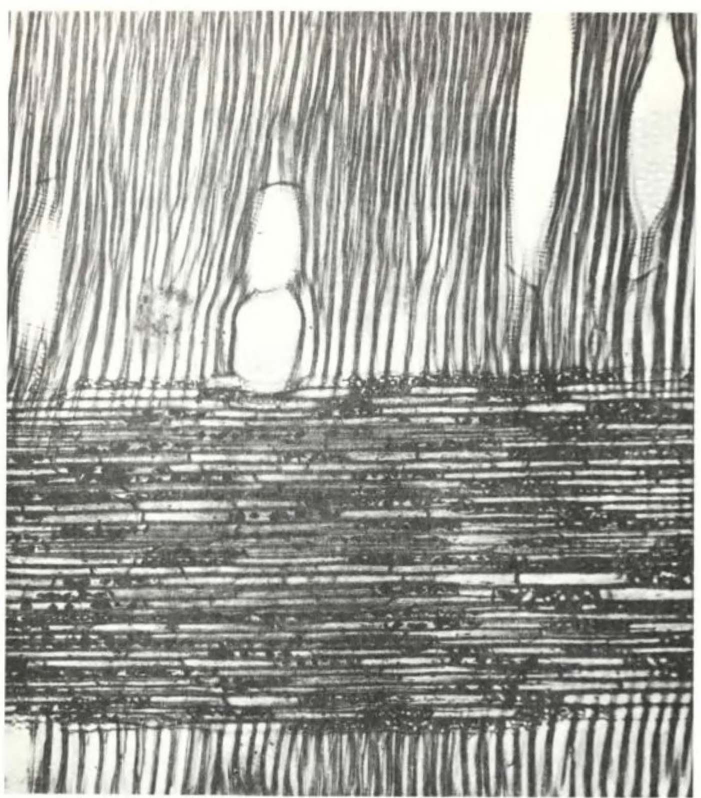


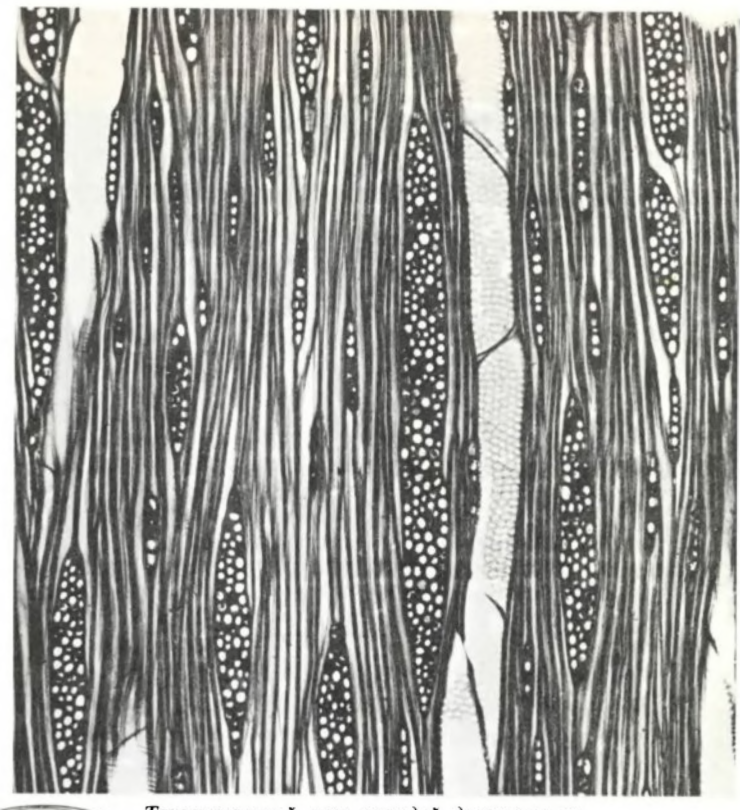
На поперечном срезе твердой древесины видны крупные сосуды, образованные из пучков клеток с пористыми концами. Темные вертикальные линии — сердцевинные лучи.

На поперечном срезе мягкой древесины видна тесно сплетенная сеть клеток, разделяемая сердцевинными лучами; в некоторых из них заметны большие смоляные ходы.

Сосна ломкая





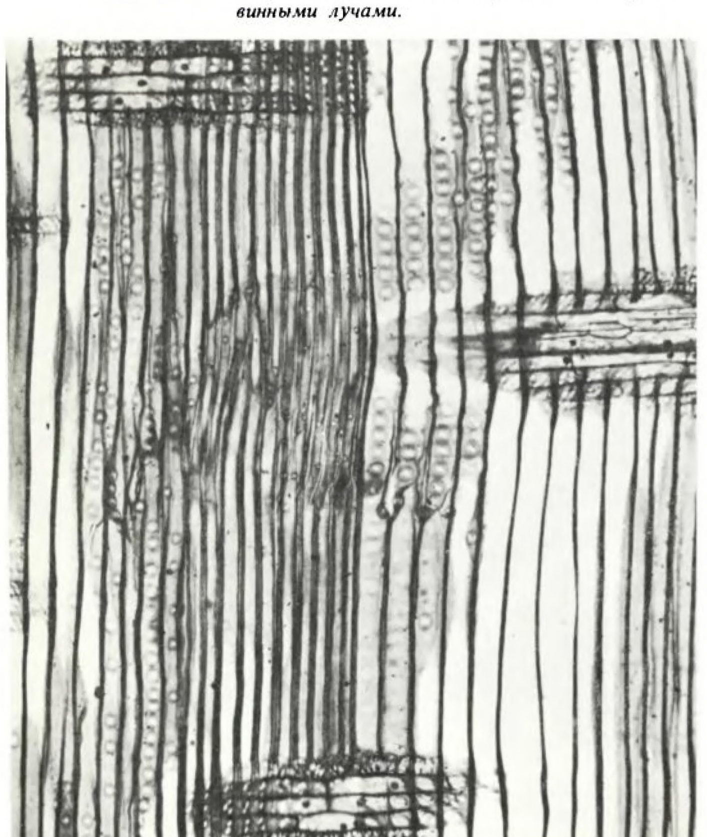


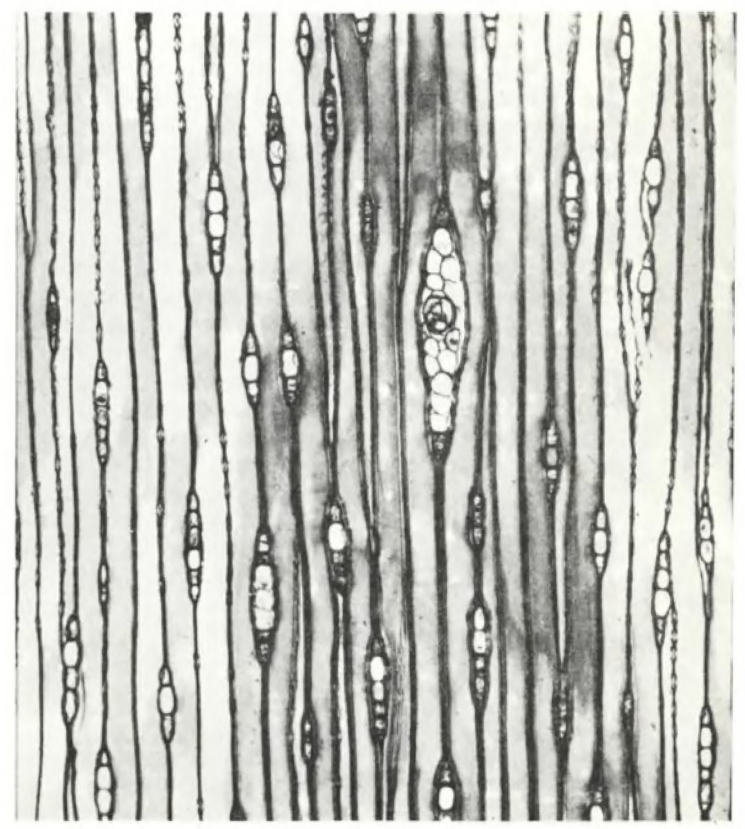
На радиальном срезе твердой древесины хорошо видна длина водопроводящих сосудов и высота пересекающих их сердцевинных лучей.

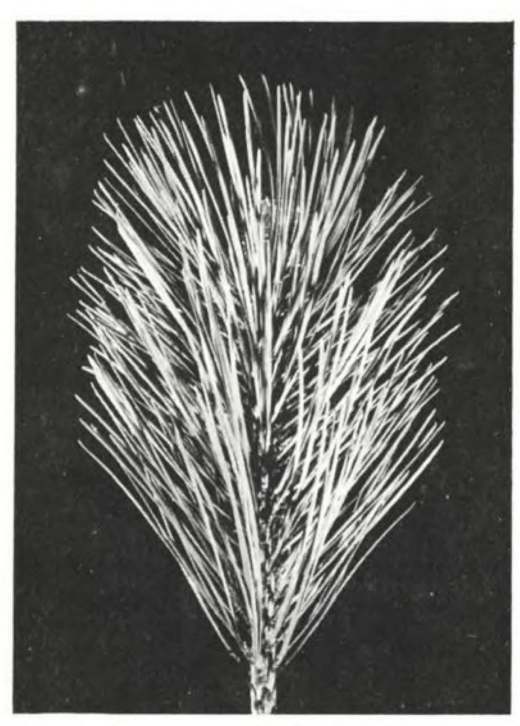
На радиальном срезе мягкой древесины видны линии параллельных пористых на концах водопроводящих клеток, пересекаемые сердцевинными лучами.

Тангенциальный срез твердой древесины позволяет видеть сердцевинные лучи - темные участки, испещренные белыми точками клеток, транспортирующих питательные вещества.

Тангенциальный срез мягкой древесины. Водопроводящие клетки расположены между лучами, ходы которых собраны в пучки.



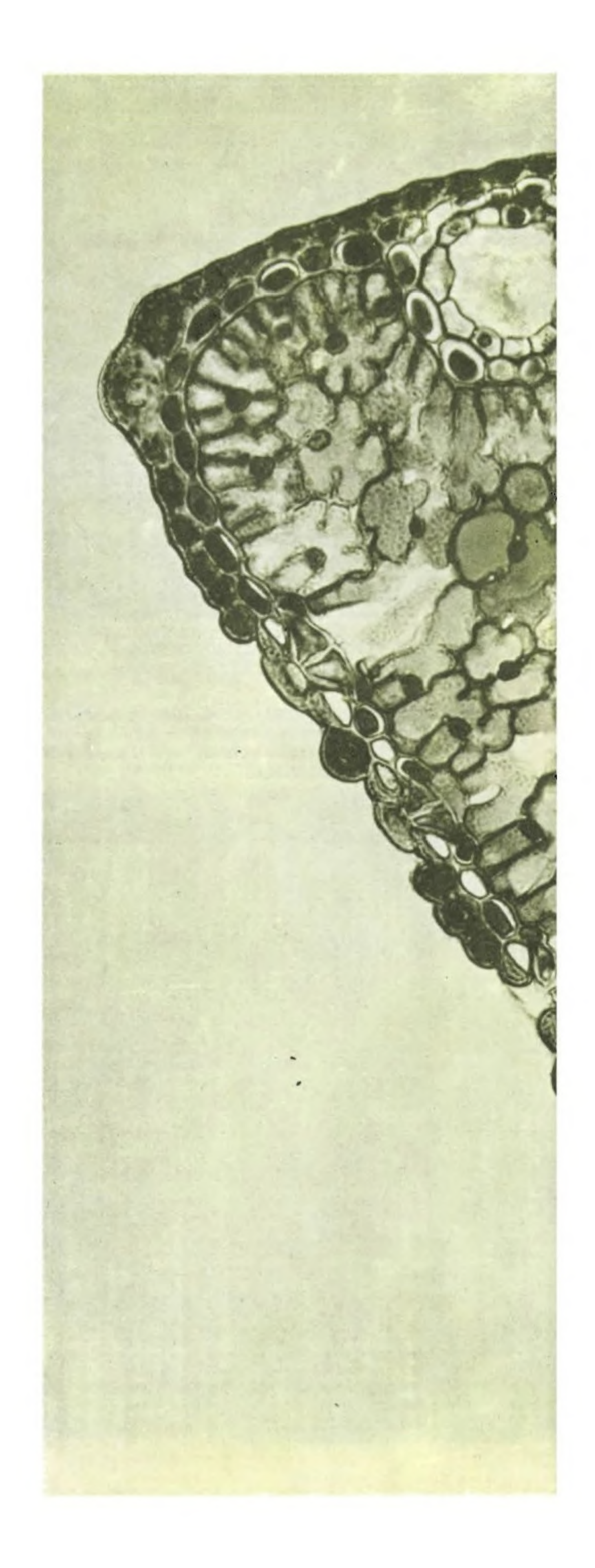




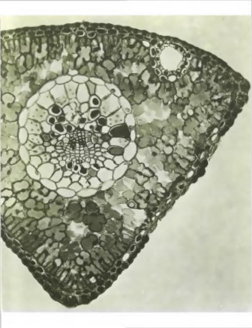
Пучок игл сосны состоит из двух или более трехгранных листьев и сидит на укороченном побеге. Со временем иглы на побеге опадают.

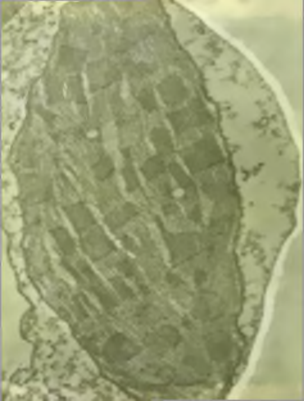
Лист — игла

В отличие от продвинувшихся в эволюционном развитии цветковых древесных пород, которые образовали широкие листья с обильно ветвящимися жилками, большинство более примитивных хвойных пород сохранили простые пучки игл, каждая из которых — это самостоятельная единица, превращающая углекислоту в сахар для питания растения. Трехгранная игла сосны длиной более 10 сантиметров и толщиной всего 1,5 миллиметра имеет лишь одну жилку, которая включает трахеиды, несущие воду и питательные вещества в лист, и ситовидные трубки, отводящие растворенный сахар к другим частям растения. За пределами этого центрального пучка лежит ткань из клеток, производящих пищу, мезофилл и ходы заживляющих раны смол; все это окружено пористой, но очень твердой оболочкой. Небольшие, компактные и толстостенные иглы хорошо приспособлены к весьма различным климатическим условиям — от тропиков до северной границы леса и даже до полярных областей. Ежегодно часть игл опадает, но обычно они остаются на дереве, пока не вырастут новые.



Поперечный срез иглы. Жилка проходит в середине плотно лежащих клеток мезофилла, ограничиваемых прочной пористой оболочкой. В верхней части среза видны два смоляных хода.





Отдельный хлоропласт из листа кукурузы, увеличенный в 40 000 раз, выявляет сложную структуру, преобразующую солнечный свет в химическую энергию, — важнейший процесс, от которого зависит жизнь растений и животных.

3

Растение как химическая фабрика

Итак, из предыдущей главы нам стало ясно, что растения состоят из клеток, которые можно детально изучать с помощью светового и электронного микроскопов. Однако, чтобы выяснить, каким образом клетки функционируют, что они делают, нам придется спуститься до молекулярного уровня, до уровня, на котором идут химические реакции. Поскольку размеры молекул измеряются ангстремами — десятитысячными долями микрона, — на таком, молекулярном, уровне нельзя увидеть, что происходит в клетке. Об этом можно судить только на основании химической информации, и здесь, работая в области бесконечно малых величин, мы приобщаемся к некоторым наиболее захватывающим явлениям живой природы.

Какой бы крошечной клетка ни была, она действительно представляет собой целую химическую фабрику, притом невероятно сложную. Клетка содержит тысячи соединений и непрерывно образует сотни веществ, участвующих в цепи реакций, которые постоянно поддерживают ее в активном состоянии. Лет двести назад нам ничего не удалось бы узнать о всей этой деятельности; химия тогда еще не достигла такого развития, чтобы дать нам средства, необходимые для обнаружения и регистрации этих процессов. Однако начиная с 1828 года с возникновением химии биологических веществ, точнее, органической химии, были раскрыты многие детали мира молекул, подобно тому как световой, а позднее электронный микроскопы открыли нам мир, лежащий за пределами возможностей невооруженного глаза. Органическая химия оказала огромное воздействие на биологию, и, наоборот, успехи биологии в свою очередь стимулировали прогресс химии.

В основе всей химической деятельности клетки лежит дыхание. Произнося это слово, мы прежде всего представляем собственное дыхание — механическое втягивание и выталкивание воздуха легкими. Однако в широком биоло-

АНАЛИЗ РАСТЕНИЙ

Точным методом определения различных химических соединений, образуемых растениями, является хроматографический анализ, позволяющий разделять органические соединения. На этих страницах показаны четыре метода хроматографии.

Растительные пигменты разделяются методом хроматографии на колонке. Растворенный пигмент стекает вниз по колонке, наполненной адсорбентом, например мелом. Различные составные части пигмента движутся с разной скоростью и образуют поиски (увеличено), которые можно разделять (в пробирки, например).

Растительные сахара и кислоты разделяются методом хроматографии на бумаге. Исследуемый материал в растворенном виде наносится на верхнюю часть листа бумаги, свисающего из сосуда с растворителем в закрытом контейнере с увлажненным воздухом. По мере того как бумага впитывает растворитель, испытываемый раствор диффундирует и его составные части разделяются на полосы.

гическом смысле дыхание является химическим, а не механическим процессом. Фактически это комплекс реакций внутри клетки, следствием которых является освобождение энергии из пищи. Поэтому, говоря о дыхании в этой главе, мы имеем в виду окисление питательных веществ, которое обеспечивает растения энергией, требующейся для их жизни и роста.

Теперь давайте мобилизуем свою собственную химическую лабораторию — наши язык, нос и глаза — и посмотрим, что с их помощью можно узнать о химизме клетки. Для начала воспользуемся вкусом и обонянием, чтобы выделить некоторые из изучаемых нами веществ. В клетке содержатся водорастворимые химические соединения, такие, как сахара и соли, которые не имеют запаха, но зато очень характерны на вкус; другие же вещества, ароматические, вроде скипидара и камфоры, нет необходимости пробовать на вкус — они летучи, диффундируют в воздух и легко различимы по запаху.

В качестве первого объекта нашего изучения возьмем незрелое яблоко. Откусив от него немного, выясняем, что оно твердое и кислое. Кислый вкус указывает на присутствие кислоты. И действительно, незрелые яблоки полны кислот, но каких? Следующий шаг — обнюхивание яблока — частично дает ответ на вопрос: в яблоке явно отсутствует целый ряд летучих кислот — муравьиная, уксусная и масляная, резкий запах которых раздражает слизистую оболочку носа. Незрелое яблоко, если не считать очень легкого «яблочного» запаха, вовсе лишено аромата, а это значит, что имеющиеся в нем кислоты, например яблочная и лимонная, характерные для многих плодов, нелетучи. Что же касается вяжущего вкуса кожуры яблока, то он обусловлен дубильными веществами, которые воздействуют на слизистую оболочку языка и создают знакомое ощущение терпкости. Все эти кислоты выполняют свои специфические функции на химической фабрике растительной клетки.

Итак, пока запомним, что в незрелом яблоке есть кислоты. О том, каким образом они способствуют процессу созревания, или — что то же самое — приводят к спелости плода, мы поговорим позже.

Теперь попробуем исследовать уже созревшее яблоко. Прежде всего мы обнаружим, что на вкус оно сильно изменилось: вместо кислого и вяжущего стало сладким; значит, его клетки наполнились сахаром. Кроме того, оно стало ароматным — приобрело заметный фруктовый запах (что, между прочим, является показателем спелости любых плодов). Поскольку яблоко не пахнет сосной или эвкалиптом, ясно, что его запах обусловлен не терпенами, скипидароподобными ве-

ществами, характерными для этих деревьев. Аромат яблока зависит от химических соединений, называемых сложными эфирами, которые образуются от соединения кислоты — такой, какую мы обнаружили в незрелом яблоке, — и спирта. Большинство подобных эфиров весьма летучи и ароматичны, и уже одно их присутствие в плоде на этой стадии его развития позволяет нам понять, что происходило в клетках во время созревания яблока.

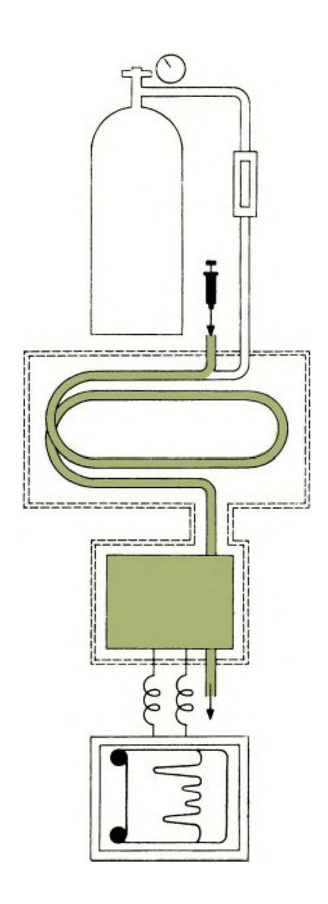
Итак, просто попробовав яблоко на вкус, мы установили, что кислоты в созревшем яблоке большей частью исчезли и их заменили сахара и эфиры. Но как там появились сахара, для чего? Отчасти они нужны, чтобы соблазнить животных поедать яблоки и тем самым распространять семена, но, кроме того, они необходимы растению как источник энергии. И вот здесь-то мы начинаем подходить к сути дела. Сахар, соединяясь с кислородом, отдает химическую энергию, которая может быть использована для образования других химических соединений, необходимых для поддержания жизни. Это и есть дыхание — пища, реагируя с кислородом, высвобождает энергию. Обозначая участвующие в процессе элементы соответствующими символами (углерод через С, водород — Н, кислород — О) и указывая цифрами относительные количества каждого из них, записываем следующую реакцию:

$$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \rightarrow 6CO_2 + 6H_2O +$$
$$+ \text{Химическая энергия},$$

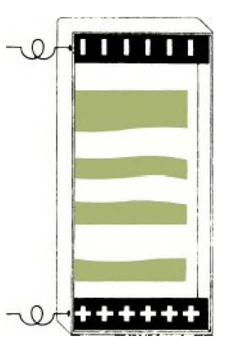
или, иначе говоря: при взаимодействии одной молекулы сахара с шестью молекулами кислорода образуются шесть молекул углекислоты и шесть молекул воды, кроме того, освобождается энергия.

Это общая формула, она отражает многие очень сложные процессы, происходящие внутри клетки с участием большинства из обнаруженных нами веществ, но это и основная формула, с которой мы неожиданно встретимся позже, когда будем знакомиться с тем, как растения аккумулируют энергию солнечного света.

Итак, вот все, что можно сказать по этому поводу о сахарах. Но откуда же появились сложные эфиры и какова их функция? Здесь нам придется познакомиться с иной формой дыхания, которая имеет место, когда кислорода недостаточно, например в середине яблока. Дыхание, для которого не требуется кислорода, называется анаэробным; при нем происходит распад сахаров без освобождения химической энергии. Продуктами такой реакции являются углекислота и спирт. Спирт, как мы уже видели, реагирует с кислотами клетки с образованием сложных эфиров, которые и придают созревающему яблоку его характерный фруктовый запах.



Растительные масла разделяются методом газовой хроматографии. Образец масла впрыскивается в поступающий под давлением поток газа. Газ проходит через наполненную адсорбентом трубку. Адсорбент помогает разделить смесь. Затем каждая составная часть образца поступает в детекторную установку и ее тип и количество регистрируются на графике.



Растительные белки разделяются электрофоретическим методом. Белок растворяют и наносят на лист влажной бумаги. Через бумагу пропускают электрический ток, и образец разделяется на полосы, так как положительно и отрицательно заряженные частицы движутся к разным полюсам с разной скоростью.

Теперь нам остается лишь исследовать перезревшее яблоко. Первое, что мы отметим, — оно стало мягким и мучнистым и утратило прежний вкус: сахара и кислоты как будто исчезли, хотя яблоко еще не потеряло аромата. Чтобы найти причину, почему плод стал невкусным, хотя все еще хорошо пахнет, перенесем наш опыт в кухню. Здесь мы разрежем яблоко на мелкие кусочки и прокипятим их в небольшом количестве воды. В результате получим кашицу. Но что это: кашица, или, вернее, яблочный соус, который мы получили в результате кипячения, источает аромат — сладкий и пикантный! Значит, сахара и кислоты были в перезревшем яблоке. Но почему же мы не замечали их, пробуя его на вкус?

Секрет заключается в размягчении яблока, а это подсказывает нам, что происходит с клетками. Под микроскопом мы увидим, что клетки перезревшего яблока начали отделяться одна от другой. Каждая клетка все еще цела, но она больше не имеет прочной связи с соседними клетками, как в плотном зрелом яблоке. В результате при разжевывании перезревшего яблока клетки легко отделяются одна от другой и проходят между нашими зубами, оставаясь целыми, с нетронутым запасом клеточного сока. Только когда мы кипятим и убиваем клетки, клеточный сок освобождается со всеми своими кислотами, сахарами и ароматными эфирами.

Итак, нам стало ясно, что в самом конце процесса созревания яблока *внутри* клеток дальнейших изменений нет, зато они происходят снаружи — в клеточных стенках. Оболочка молодой клетки состоит из довольно эластичного вещества, называемого протопектином, рядом с которым откладывается гораздо более плотная целлюлозная стенка. В незрелом яблоке протопектин удерживает целлюлозные оболочки вместе, но после созревания плода образуется фермент, который растворяет протопектин и превращает его в пектин. Связь между клетками нарушается, и яблоко становится мягким и мучнистым. (Высвобожденный пектин при кипячении яблока с сахаром превращается в желе. На этом основан принцип промышленного получения фруктовых желе.) Как раз в это время кислоты внутри клеток соединяются со спиртом, получающимся при анаэробном дыхании, и образуют сложные эфиры* Вот почему чем спелее яблоко, тем оно ароматнее.

Опыты с яблоками интересно дополнить некоторыми наблюдениями над более крупными плодами, такими, как, скажем, дыни и ананасы. Чем крупнее плод, тем меньше кислорода внутри плода и тем больше спирта будет образовано при анаэробном дыхании. Поэтому не удивительно, что дыни и ананасы — одни из наиболее ароматных плодов; в них образуется так много спиртов, что и содержание сложных эфиров оказывается гораздо выше, чем в большинстве менее крупных плодов*.

От спирта естественно перейти к вопросу о вине и винограде. Проба на вкус и на запах покажет, что в зрелом винограде много сахара и каких-то органических кислот, но сравнительно мало ароматических веществ — ягоды винограда не пахнут так сильно, как спелые яблоки. Из этого мы можем сделать вывод, что они содержат мало спирта. Так оно и есть: когда грозди винограда давят и их сок сливают в чаны, к нему необходимо добавлять дрожжи, с тем чтобы при последующем брожении сахаров образовывался спирт. Только после этого спирт может соединиться с органическими кислотами, находящимися в соке, и появляется аромат вина, которого сами грозди не имели. Поскольку разные сорта винограда содержат различные органические кислоты и разные виды дрожжей образуют различные спирты, существует большое число самых разнообразных вин, каждое со своим, только ему присущим ароматом («букетом»).

Из созревающих плодов можно извлечь и другую химическую информацию, но на этот раз в качестве средства для изучения придется воспользоваться глазами. Постараемся проследить за изменениями окраски плода. Эти изменения также дают нам важные указания на то, что происходит внутри клетки. Появление и исчезновение красящих веществ, или пигментов, заметить нетрудно. Но следует помнить, что один цвет может маскировать другой, например желтый маскируется синим, когда они вместе образуют зеленый цвет. Так происходит и в листьях, где желтые каротиноидные пигменты обычно маскируются синевато-зеленым хлорофиллом, создавая светло-зеленую окраску. В зависимости от соотношения каротиноидов и хлорофилла листья могут выглядеть как угодно — от желто-зеленых до темно-зеленых со всеми возможными переходами между ними.

Большинство плодов в незрелом состоянии бывают зелеными, значит, в них много хлорофилла. Некоторые сорта яблок остаются зелеными, даже когда они полностью созреют, другие становятся светло-желтыми, третьи краснеют. Пожелтение яблок отчасти обусловлено исчезновением маски-

* В действительности цепь происходящих преобразований гораздо сложнее.

* Аромат плодов зависит в основном от синтеза тех продуктов, которые его определяют. Это свойство растения.

рующей зелени хлорофилла, что позволяет увидеть цвет каротиноидных пигментов в клетках кожуры. Каротиноиды химически устойчивее многих химических компонентов клетки, скажем, хлорофилла, сахара или танина, и потому часто дольше других химических соединений остаются в клетке. Однако если желтый цвет созревающих яблок не обусловлен возникновением какого-то нового пигмента, то красный цвет появляется заново. Он обусловлен антоцианом, близким к тому, что окрашивает в красный цвет лепестки герани или мака, и его появление раскрывает нам некоторые детали химических превращений в клетке.

В отличие от каротиноидов и хлорофиллов*, которые заключены в пластидах внутри клетки, антоцианы растворены непосредственно в клеточном соке. Их можно извлечь, если прокипятить кусочек кожуры яблока. По мере кипячения красная окраска кожуры начинает исчезать сначала у краев среза, затем в центре. Исчезновение окраски указывает на постепенное вымывание антоциана, который вместе с клеточным соком освобождается из разрушающихся при кипячении клеток. Несмотря на то что вода, в которой кипятили кожуру яблока, кажется бесцветной, антоциан в ней все же имеется, и это можно проверить, добавив к воде уксуса или другой кислоты: вода немедленно окрасится в пунцовый цвет. Дело в том, что в присутствии кислоты многие антоцианы окрашиваются в пунцовый или красный цвет. И, поскольку антоциан, растворенный в клеточном соке, имеет красный цвет, напрашивается вывод, что клеточный сок имеет кислую реакцию.

Конечно, в том, что клетки яблока содержат кислоту, ничего нового нет; мы уже определили это на вкус. Но зато теперь мы точно выяснили местонахождение кислоты — клеточный сок. И, исходя из этого частного открытия, мы можем постепенно двигаться вперед в определении внутренней структуры клетки, все время действуя в невидимом мире субмикроскопических величин и руководствуясь только теми указаниями, какие дают нам химические реакции.

Второе открытие может быть сделано при кипячении еще одного кусочка кожуры яблока и более тщательном наблюдении за происходящим. Бросьте этот второй кусочек в кипящую воду, и вы увидите, что, прежде чем окраска начнет исчезать, она из красной превратится в фиолетовую. Поскольку щелочная реакция среды придает антоцианам фиолетовый цвет, подобно тому как кислая — красный, ясно, что антоциан в кожуре яблока в момент разрушения клеток кипячением попал в щелочную среду. А так как другой главной составной частью клетки является протоплазма, замеченное нами явление указывает на то, что протоплазма имеет слегка щелочную реакцию. Следовательно, внутри живой клетки должен существовать какой-то род барьера, который отделяет слабокислый клеточный сок от слабощелочной протоплазмы. Так простые, но вместе с тем тщательные наблюдения позволили нам немало узнать о сложной внутренней структуре клеток.

Примерно те же процессы, что мы наблюдали в созревающих плодах, происходят осенью и в листьях. Пожелтение листьев обусловлено главным образом исчезновением хлорофилла. Правда, коричневая окраска листьев многих дубов и буков вызвана такими же процессами окисления, какие происходят в поврежденных и отмирающих клетках; например, ломтик яблока, оставленный на воздухе, буреет. Но ярко-красная и пурпурная окраска листьев красного дуба, красного клена, сумаха, дикого винограда и ликвидамбара обусловлена антоцианами. Поскольку для образования антоцианов требуется повышенная интенсивность освещения и высокое содержание сахара, изменение окраски чаще всего происходит в ясные осенние дни, которым предшествовал заморозок, стимулирующий накопление сахара в листьях. Этим объясняется, почему в некоторые годы осенняя расцветка листьев бывает особенно эффектной.

Столь интересные сведения о химическом составе растений мы получили довольно просто: внимательно разглядывая, обнюхивая, пробуя их на вкус и подвергая кипячению. Чтобы продолжить исследование, нам придется перейти в химическую или физиологическую лабораторию, поскольку многие из химических процессов в растении связаны с поглощением и освобождением газов, которые мы не можем ни видеть, ни обонять. И здесь мы прежде всего приступим к изучению фотосинтеза — процесса, посредством которого растения превращают лучистую энергию солнечного света в химическую, самого важного процесса из всех происходящих в мире.

Если, по-вашему, это последнее утверждение звучит слишком смело, давайте потратим несколько минут и посмотрим, что же происходит при фотосинтезе. С точки зрения энергетики нет ничего, что могло бы сравниться с ним: фотосинтез обеспечивает рост зеленых растений — всех зеленых растений во всем мире, от пшеницы и кукурузы Европы до хлопчатника Арабской Республики Египет и пышной флоры дождевых лесов Южной Америки, от злаков на равнинах Африки и Азии до гигантских секвой Калифорнии. А в весовом выражении по сравнению с его продукцией деятельность людей выглядит просто ничтожной.

* В настоящее время установлено около 10 форм хлорофиллов.

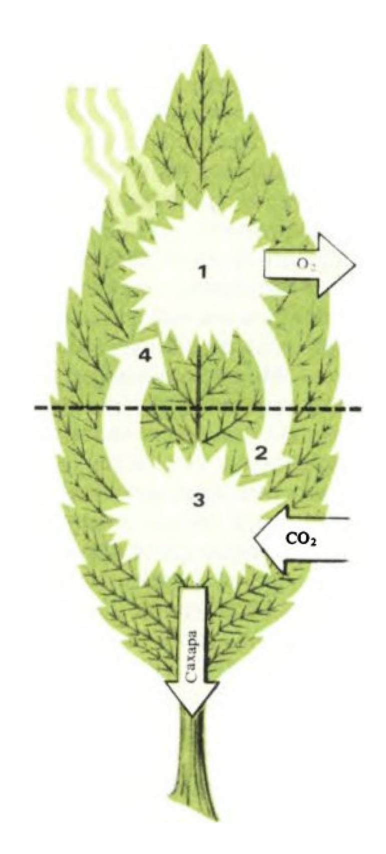
Ежегодно все сталелитейные заводы мира выпускают 310 миллионов тонн стали, а цементные заводы — 290 миллионов тонн цемента. Зеленые же растения Земли ежегодно производят 130 000 миллионов тонн сахара — и это благодаря процессу, который пока еще никто не смог воспроизвести в пробирке, процессу, который мы только-только начинаем понимать.

Открытие фотосинтеза — или скорее догадки, предшествовавшие его открытию, — относится к периоду примерно двухсотлетней давности. Уже давно было известно, что если держать какое-либо животное в закрытом контейнере, то оно постепенно отравит воздух своим дыханием и со временем задохнется. Почему так получалось, никто не мог объяснить, так как никто не знал, из каких газов состоит воздух. И лишь в 1774 году английский естествоиспытатель Джозеф Пристли, выделивший кислород из воздуха, установил, что животные в процессе дыхания поглощают животворный кислород и выделяют удушающую углекислоту. Растения производят обратный процесс: они способны улучшать воздух, испорченный дыханием животных или людей. Это привело к беспрецедентному использованию цветов в комнатах больных, двери которых обычно держали плотно закрытыми, с тем чтобы никакой «вредный» наружный воздух не мог проникнуть в помещение. Однако современник Пристли, голландский врач и естествоиспытатель Ян Инген-Хауз с недоверием отнесся к этому недостаточно обоснованному использованию растений в помощь лечению и провел ряд опытов с целью доказать или опровергнуть его действенность. Результатом серии блестящих опытов было открытие, что только зеленые части растений могут улучшать воздух, да и то если они находятся на свету. Он обнаружил также, что цветки и другие незеленые части растений, а также зеленые листья, остающиеся в темноте, подобно животным, поглощают кислород. Дальнейшие опыты, проведенные швейцарцем де Соссюром, помогли наконец свести процесс фотосинтеза к химической формуле

$$\underset{\text{Углекислота}}{6\,CO_2} + \underset{\text{Вода}}{6\,H_2O} + \text{Солнечная энергия} \longrightarrow \underset{\text{Сахар}}{C_6H_{12}O_6} + \underset{\text{Кислород}}{6O_2},$$

которая как раз совершенно противоположна формуле, иллюстрирующей процесс дыхания животных и растений:

$$\underset{\text{Сахар}}{C_6H_{12}O_6} + \underset{\text{Кислород}}{6\,O_2} \longrightarrow \underset{\text{Углекислота}}{6\,CO_2} + \underset{\text{Вода}}{6\,H_2O} + \text{Химическая энергия}.$$



СВЕТ ПРОИЗВОДИТ САХАР

Процесс фотосинтеза в широком смысле состоит из четырех частей. Вначале свет энергично реагирует с хлорофиллом (1), расщепляя воду на ее исходные компоненты. При этом освобождается кислород (стрелка наверху) и, что очень важно, заряжаются два кофермента — один химической энергией, другой водородом. Изогнутая стрелка (2) показывает действие этих заряженных коферментов. На очереди стоит углекислота (стрелка справа внизу), захваченная «акцепторным» соединением (3). В это время один из заряженных коферментов освобождается от своего заряда, чтобы осуществился ключевой процесс соединения водородного заряда другого кофермента и вакантной углекислоты. Образующиеся углеводы превращаются в сахара (стрелка внизу) — основной продукт фотосинтеза. Оба незаряженных кофермента освобождаются (4) для повторной перезарядки и продолжения цикла.

Эти уравнения, выражающие суть двух главных процессов, осуществляемых растениями, раскрывают секрет фотосинтеза и аккумуляции солнечной энергии. Если зеленые листья поместить на сильный свет, они могут использовать этот свет, чтобы образовать сахар и кислород из углекислоты и воды. Но они же могут изменить этот процесс на обратный, разрушая сахар кислородом — как это происходит при простом дыхании — с освобождением связанной в нем световой энергии и выделением углекислоты и воды как побочных продуктов. Солнечная энергия, преобразованная при помощи фотосинтеза в химическую, аккумулируется в очень стойком соединении — сахаре. В нем она всегда доступна растению и в зависимости от потребностей может быть либо немедленно использована для обеспечения жизнедеятельности, либо отложена в запас на миллионы лет, например в виде каменного угля, чтобы в конечном счете быть использованной человеком для обогрева жилища, приготовления пищи или для движения паровых машин.

Это лишь контуры истории вопроса. В действительности все обстоит совсем не так просто. Как, например, осуществляется фотосинтез? Это все равно, что спрашивать, как возникла жизнь, — на этот вопрос мы просто не знаем ответа. Однако нам известны два главных момента.

Первый заключается в том, что непосредственное воздействие света в фотосинтезе производится не на углекислоту, а на воду, причем свет каким-то образом способствует разрушению молекул воды. Именно в этом процессе участвует хлорофилл. Одним из результатов является освобождение кислорода, другим — накопление химической энергии в форме очень нестойкого соединения, называемого аденозинтрифосфатом, или АТФ.

Второй момент заключается в том, что углекислота воздуха восстанавливается этой химической энергией в форме АТФ с образованием сахара. Это было артистически доказано американским биохимиком Мелвином Кальвином, лауреатом Нобелевской премии, который провел в Калифорнийском университете серию остроумных опытов с радиоактивным углеродом. Полезность радиоактивных элементов в подобных опытах несомненна, так как по всей цепи химических реакций, происходящих в растении, можно проследить путь отдельных молекул радиоактивного материала. Поэтому, когда Кальвин снабжал фотосинтезирующие зеленые водоросли радиоактивной газообразной углекислотой, он мог проследить путь меченых атомов углерода совершенно так же, как можно проследить за движениями одного синего шарика, встряхиваемого в сосуде с прозрачными стеклянными шариками. Путь, который выбирали радиоактивные молекулы углерода, был прямым, а переходы быстрыми. Всего через несколько секунд после поступления углекислоты радиоактивный углерод обнаруживался в отдельных клетках в составе молекул сахара. С почти невероятной быстротой молекулы газа схватывались каким-то пока неизвестным компонентом тех клеток растения, в которых происходил фотосинтез, расщеплялись и затем с помощью энергии АТФ включались в молекулы сахара.

Помимо фотосинтеза и дыхания в бесперебойно работающей химической фабрике, какой является клетка растения, постоянно и одновременно идет множество обменных реакций. Клетке необходимо синтезировать протоплазму, производить аминокислоты и белки и сотни других соединений. Для всех этих реакций используется в конечном счете один и тот же источник энергии — сахар, но каждое соединение должно быть произведено в определенном количестве и в должное время. Регуляторами всей этой деятельности служат ферменты — особые белки, которые стимулируют различные химические реакции, протекающие внутри клетки. Каждый фермент специфически регулирует определенную химическую реакцию, и правильно будет сказать, что в клетке имеется столько различных ферментов, сколько и производимых ею веществ.

Однако при всем этом разнообразии существует определенное единство. Прежде всего все ферменты — это белки, и есть предположение, что один и тот же белок может выполнять несколько функций, изменяя свою конфигурацию для того, чтобы действовать различным образом. Общепризнанно, что фермент как истинный катализатор не участвует в регулируемых им химических реакциях, а только обеспечивает нужные условия для преобразования энергии, способствуя взаимодействию участвующих в реакции веществ.

Тот факт, что отдельный химический компонент или несколько близкородственных компонентов могут выполнять несколько функций, наилучшим образом демонстрируется на примере сахара. Мы уже видели, что сахар является первым стойким продуктом фотосинтеза, производимым ежегодно в миллиардах тонн — в большем количестве, чем какое-либо другое химическое соединение на Земле. Помимо того что это главный продукт фотосинтеза, это также один из главных продуктов *накопления* химической энергии, и многие растения, такие, как сахарный тростник, сахарная свекла, лук, горох и кукуруза, запасают его в стеблях, корнях, луковицах или семенах. Но, несмотря на всю свою химическую стабильность, сахар также служит главным *источником* энергии для всех животных и растительных клеток — при необходимости этот химически устойчивый продукт может стать столь активным, что его энергии хватит на все клеточные процессы. Под действием фосфо-

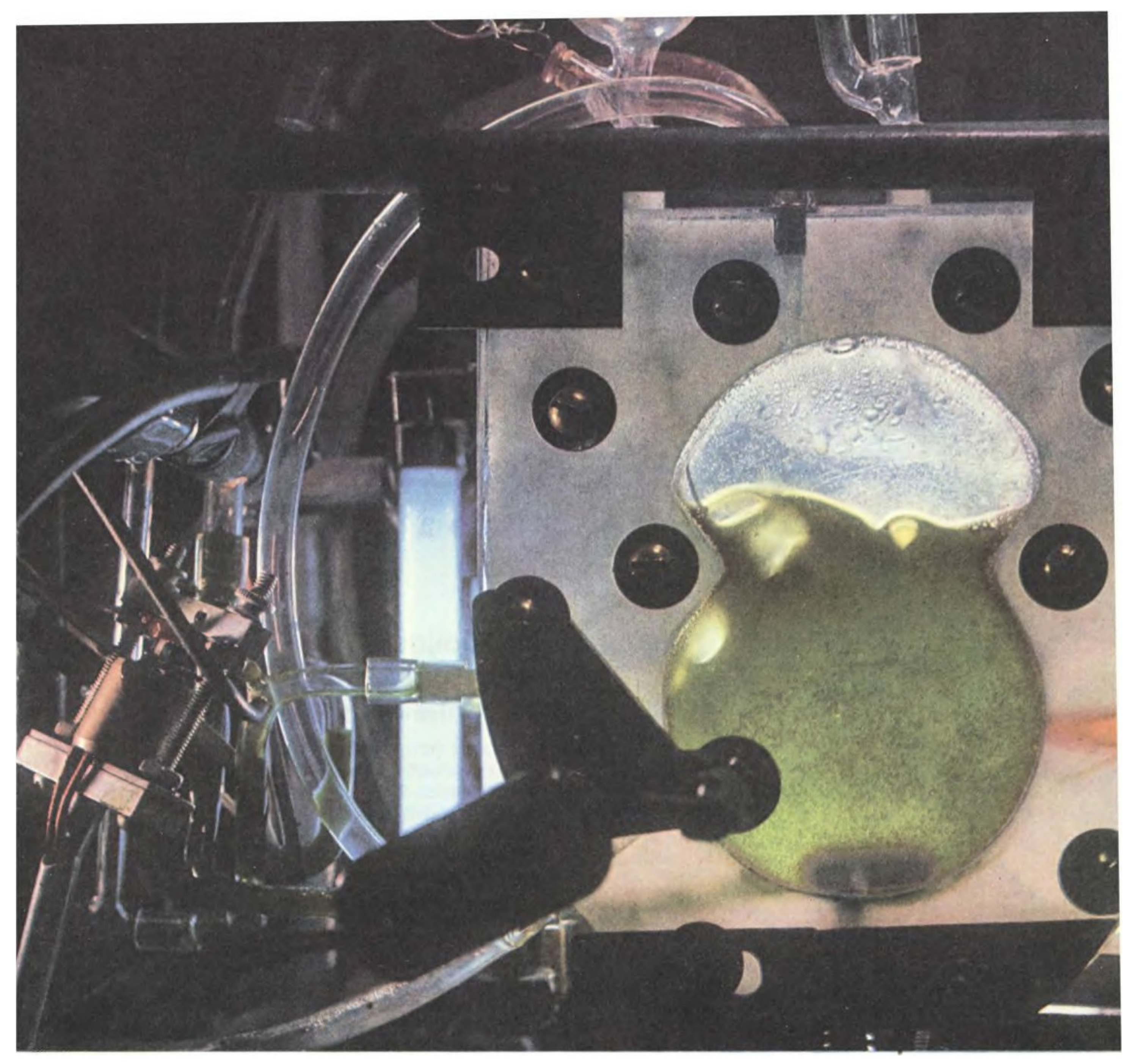
рилирующих ферментов сахар активизируется фосфатом, мгновенно становясь одним из наиболее активных соединений в клетке.

Однако если в соединении с фосфатом молекулы сахара очень активны, то в случае отщепления фосфата они теряют эту активность, становясь инертными. Без фосфата длинные цепи молекул сахара, образующиеся в фазе фосфорилирования, могут превратиться в целлюлозу, одно из наиболее устойчивых из всех существующих органических веществ. Целлюлозу в ее различных формах, подобных хлопку, льняным тканям или бумаге, можно даже обрабатывать концентрированными кислотами, щелочами или какими-нибудь другими растворителями, и она не разрушится. Включая целлюлозу в оболочку клетки, растение тем самым ограничивает свою возможность изменять размер или форму этой клетки. Разложить целлюлозу не в состоянии не только большинство растений, которые ее же и образуют, но и животные. Коровы, например, питаются травой, но не способны переваривать целлюлозу. Они тщательно жуют и измельчают траву, пока не извлекут из клеток все питательные вещества, но сами клетки — их целлюлозные оболочки — проходят через пищеварительный тракт животного и удаляются в том же самом химическом состоянии, в каком они были поглощены. Известен лишь один вид животных, способных переваривать целлюлозу, — это термиты; но и они переваривают целлюлозу только при помощи еще более мелких существ, простейших, которые обитают в их кишечнике. Целлюлоза устойчива и по отношению к большинству микроорганизмов; этим объясняется, почему упавшие листья и ветви разлагаются не сразу. Лесную подстилку способны разлагать лишь определенные бактерии и грибы.

Когда длинные цепи молекул сахара соединяются не линейно, как в целлюлозе, а несколько иначе, с разветвлением цепи, то образуется иное вещество, крахмал. Его молекула слишком крупна, чтобы она могла растворяться, но тем не менее не обладает химической устойчивостью целлюлозы. Крахмал — это своего рода форма бестарного хранения сахара, потому что он легко разрушается в клетке ферментом амилазой, преобразуясь в сахар, и снова участвует в цепи реакций. Это можно продемонстрировать в простом опыте — стоит лишь пожевать немного крахмала. В слюне человека есть амилаза, и, если жевать крахмал достаточно долго, он становится сладким на вкус. Амилаза содержится во всех прорастающих семенах, где крахмал служит резервной пищей. Одним из лучших источников амилазы является солод из прорастающих семян ячменя. При приготовлении пива, смешивая достаточные количества солода с размолотым ячменем, крахмал ячменя переводят в сахар, который затем сбраживается дрожжами.

Имеется целый ряд различных химически очень сходных сахаров, и только после разработки крайне тонкой методики мы получили возможность легко разделять и различать их. Каждый из этих сахаров характеризуется своими особыми свойствами и образует отличающиеся друг от друга продукты, соединяясь в длинные молекулярные цепи. Например, вместо целлюлозы могут быть образованы гемицеллюлозы; они придают клеточным оболочкам не меньшую прочность, но могут быть снова разрушены и использованы растением повторно в качестве источника энергии. В этом случае сами клеточные оболочки служат хранилищем пищи. Так, клеточные оболочки в косточке финика, несмотря на их чудовищное утолщение, под воздействием ферментов могут растворяться, когда семя прорастает и нуждается в питательных веществах. При небольших химических видоизменениях в структуре цепи молекул сахара образуются вещества с совершенно иными свойствами, как это наблюдается во многих растительных слизях и пектинах. Растительные слизи несут определенную функцию, связанную с засухоустойчивостью: если кактус поврежден, слизь внутри клеток, просачиваясь на раневую поверхность, высыхает на ней и надежно закрывает ранку. Пектины, как мы видели, сообщают частичную жесткость клеточным оболочкам молодых растений еще до того, как те будут армированы целлюлозой.

Все эти соединения вырабатываются из очень немногих относительно простых материалов. Вновь и вновь используется одна и та же основная химическая структура, чтобы обеспечить хранение и мобилизацию энергии, механическую прочность, жесткость тканей, механизм растягивания клеточных оболочек и защиту от засухи. Во всем этом безусловно проявляется наивысшая степень изобретательности природы.



Опыт, в котором прослеживается путь радиоактивного углерода при фотосинтезе зеленых водорослей. Видны пузырьки радиоактивной углекислоты.

ЧУДЕСА РАСЦВЕТКИ

Все зеленые растения, даже крошечные водоросли в сосуде, представляют собой фантастически продуктивные химические фабрики, работающие за счет солнечного света, основного источника всякой энергии на Земле, кроме атомной. Важнейшую роль в превращении этой энергии в пищу посредством фотосинтеза играет пигмент хлорофилл; другие пигменты также участвуют в химических процессах в растениях и, кроме того, влияют на их внешний вид.

1. Увеличенный участок листовой пластинки (обведен белым кружком на левом рисунке). Вертикальные палисадные клетки и губчатые клетки под ними испещрены зелеными хлоропластами — крошечными фотосинтезирующими фабриками растения.

Микрокосм, готовящий пищу из солнечных лучей

Чудеса фотосинтеза интриговали ученых с того самого момента, когда это явление было обнаружено. В общих чертах процесс превращения воды и углекислоты в сахар известен уже по меньшей мере в течение столетия. Несмотря на то что прошло столько времени и было поставлено несчетное число экспериментов, мы все еще далеки от полного раскрытия тайн фотосинтеза. Однако наши познания в этой области расширяются.

Растение слева — это обыкновенный батат; стрелки указывают пути движения основного сырья и продуктов фотосинтеза. Остальные пять рисунков изображают детали фотосинтезирующего аппарата клетки при все более сильном увеличении.

Процесс осуществляется в хлоропластах с их светочувствительными пигментами. Максимум поглощения света молекулой хлорофилла приходится на красную и синюю области спектра. Именно от волн этой длины хлорофилл получает бóльшую часть энергии. В листе уже имеется вода, поданная через корни, и углекислота, попавшая туда через многочисленные поры. Активированный светом хлорофилл разрушает молекулу воды, освобождая при этом атом водорода и выделяя часть кислорода в воздух. Водород немедленно связывается особой сопутствующей молекулой; его решающая роль еще впереди.

Но некоторые из расщепленных молекул воды

2. Похожие на мяч для игры в регби хлоропласты (обведенный кружком участок на первом рисунке еще больше увеличен) монополизируют весь хлорофилл в клетке. Чтобы лучше использовать свет, они могут поворачиваться.

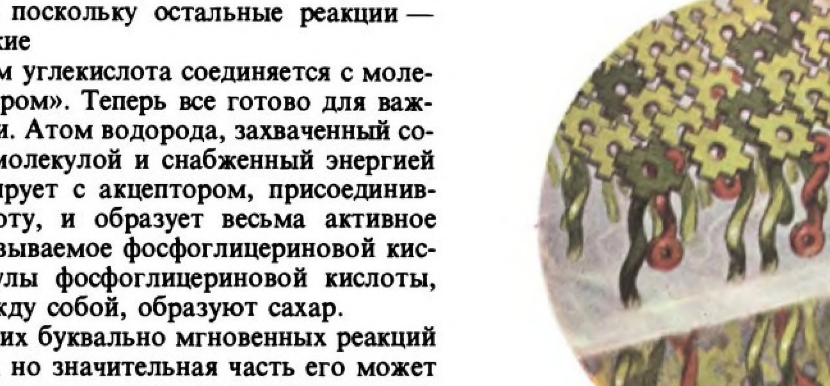
3. Еще большее увеличение выявляет похожие на монетки мелкие тельца в хлоропластах — граны. Сложенные столбиком одна над другой, они отделены тонкими слоями хлорофилла.

4. Квантасомы в виде четок, выявляемые под оболочкой граны при дальнейшем увеличении, — это отдельные фотосинтезирующие единицы. Каждая крошечная цепочка содержит около 200 светочувствительных молекул хлорофилла.

вновь воссоединяются. При этом они высвобождают энергию, которая используется для создания из уже имеющегося в растении материала энергетически заряженной молекулы, называемой АТФ, или аденозинтрифосфатом. АТФ, универсальный двигатель в живых организмах, способен обеспечить энергией химические реакции, не становясь частью конечного продукта. Этим заканчивается фаза фотосинтеза; после этого хлорофилл уже не нужен, поскольку остальные реакции — чисто химические

Тем временем углекислота соединяется с молекулой-«акцептором». Теперь все готово для важнейшей реакции. Атом водорода, захваченный сопутствующей молекулой и снабженный энергией от АТФ, реагирует с акцептором, присоединившим углекислоту, и образует весьма активное соединение, называемое фосфоглицериновой кислотой. Молекулы фосфоглицериновой кислоты, соединяясь между собой, образуют сахар.

Механизм этих буквально мгновенных реакций крайне сложен, но значительная часть его может быть прослежена с помощью электронного микроскопа. Заключительный этап в этой серии рисунков представлен молекулярным уровнем; однако даже здесь биофизики сумели с правдоподобной точностью раскрыть характер и расположение этих крошечных приборов самой производительной химической фабрики на Земле.



5. Зубчатые молекулы хлорофилла, наклоненные, как на этом стилизованном рисунке, перемежаются оранжевыми молекулами каротина, которые могут поглощать некоторые световые волны и таким образом передавать дополнительную солнечную энергию хлорофиллу.

Редко встречающийся в цветках высших растений хлорофилл окрашивает лепестки этого гибридного триллиума вызывающе яркими зелеными полосами.

Хлорофилл придает зеленую окраску яблоку сорта Сеянец Брамли.

Основной пигмент — зеленый

Хлорофилл, помимо его изумительной химической мощи, по существу пигмент, который сообщает свой зеленый цвет большинству растений. Но это всего лишь один из тысяч пигментов, существующих в растительном мире, в частности в цветках и плодах. Более чем столетние исследования все еще не выяснили до конца функций этих пигментов как факторов окрашивания, если таковые у них имеются. Можно, вероятно, предполагать, что пигменты способствуют привлечению насекомых и других животных прежде всего для опыления, а затем и для распространения семян. Возможно, по этой причине сам хлорофилл является единственным окрашивающим пигментом только у ветроопыляемых цветков — ветер вряд ли обратит внимание на красоту, скажем, желтого трубчатого нарцисса (*справа вверху*).

Ярко-желтый нарцисс получает свою окраску от одного из многих каротиноидных пигментов.

Каротиноиды — яркие и стойкие

Каротиноидные пигменты, тоже чувствительные к свету, встречаются, как правило, в хромопластах — тех клеточных образованиях, которые ярко окрашивают цветки и плоды. Всего выделено более 60 каротиноидных соединений. Они составляют вторую по распространенности группу красящих пигментов в мире растений. Разделяемые на две основные группы, каротины и ксантофиллы, каротиноиды создают гамму цветов от лимонно-желтого до томатно-красного. Некоторые ботаники полагают, что каротиноиды играют важную роль в обусловленных светом, или фототропических, движениях растений, а животные получают от них витамин А. Каротиноиды настолько стойки, что не разрушаются даже в процессе пищеварения в организме животных. Они являются красящим веществом яичного желтка и сливочного масла.

Преобладание каротинов придает желтую окраску яблоку сорта Голден Дилишес.

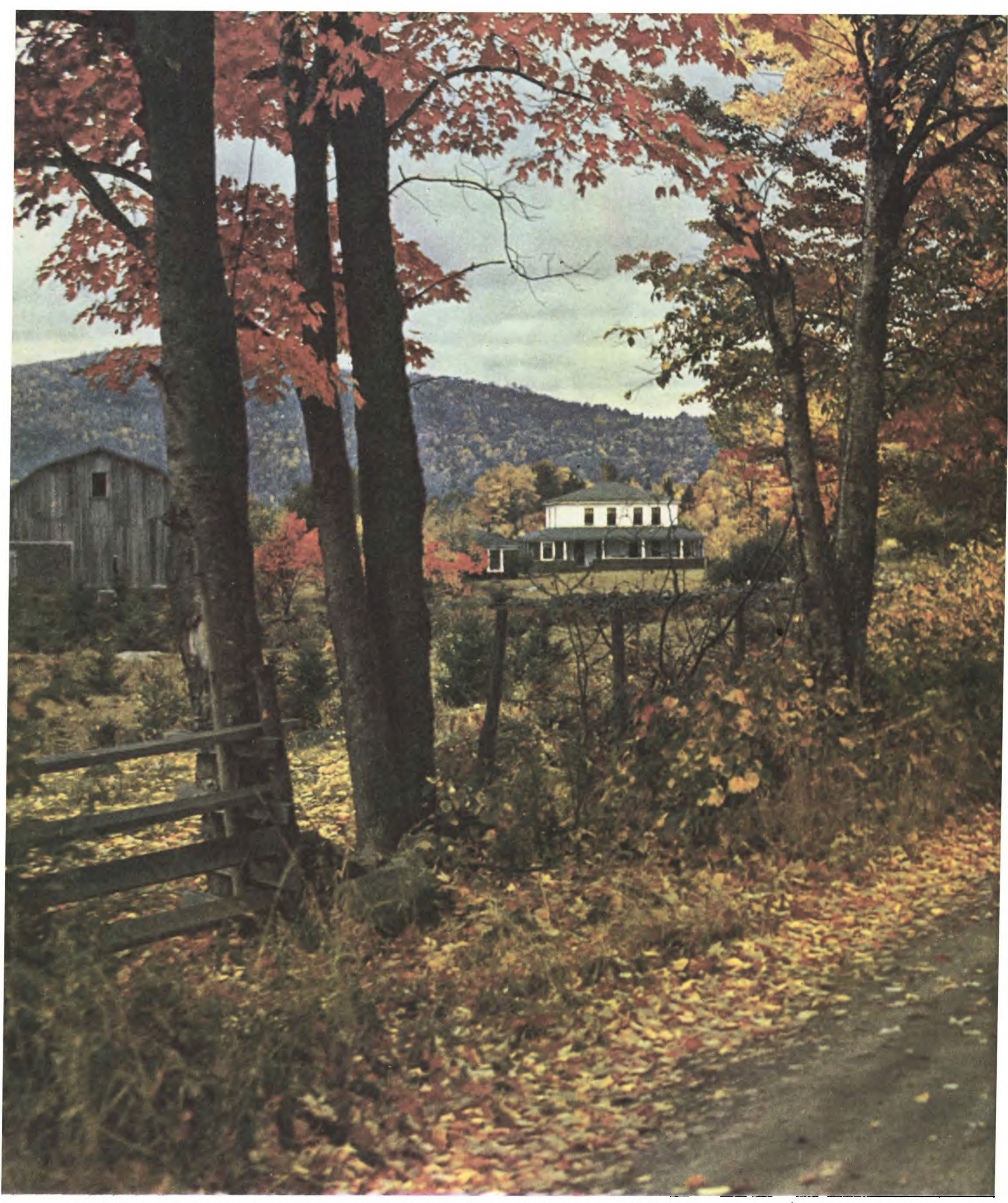
Красный аронник, насыщенный антоциановыми пигментами, раскрыл свое огненное покрывало. Его желтый початок представляет соцветие, состоящее из множества отдельных цветков.

Антоцианы окрашивают яблоко сорта Джонатан в красный цвет.

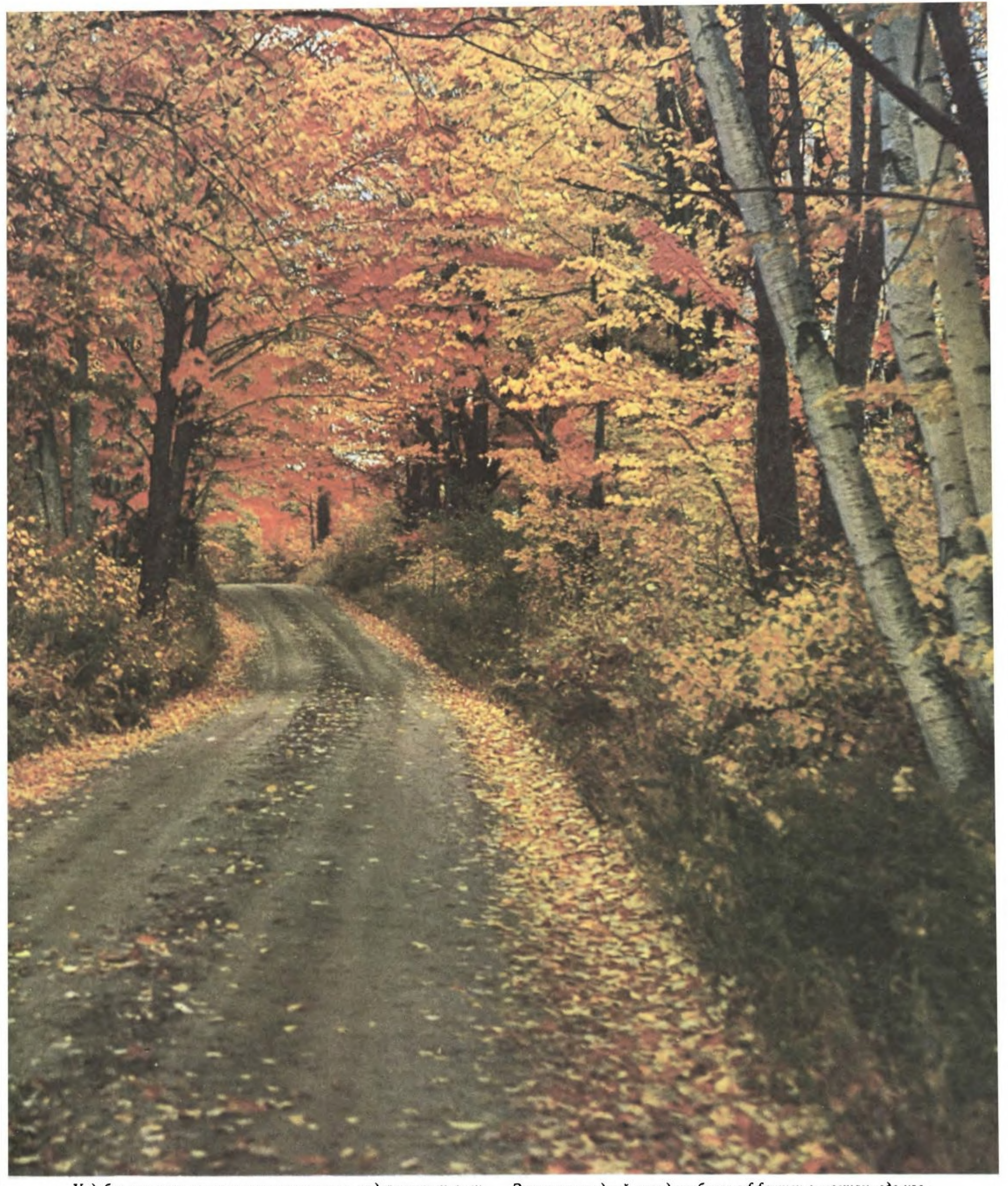
Антоцианы — красные и синие

Третью по распространенности группу красящих пигментов в мире растений составляют антоцианы; их оттенки — от бледно-розового до красного и огненно-пурпурного. Яркие красители растворены в клеточном соке растений. Несмотря на многочисленные исследования, для этих декоративных пигментов до сих пор не установлено каких-либо жизненно важных функций. Известно, что антоцианы легко реагируют на повышение или понижение кислотности. Например, один вид вьюнка начинает свой суточный цикл со слегка кислым клеточным соком и светло-пунцовой окраской цветков, а заканчивает его вечером со слабощелочной реакцией и синей окраской. Классическим примером может также служить гортензия: в нейтральной почве ее цветки будут красными, но в щелочных условиях они становятся синими.

Фиалка африканская получает свою окраску от антоцианового пигмента, называемого виоланином, химически близкородственного пигменту, который окрашивает цветки дельфиниума. Наследование антоцианов так хорошо изучено, что селекционеры, занимающиеся разведением этих фиалок, могут получить сеянцы с любым оттенком — от красного до синего, а также белого цвета.



Спокойная осенняя красота этой проселочной дороги в Нью-Гэмпшире (США) — результат из года в год повторяемой химической реакции, в которой в равной степени участвуют и пигменты и погода. С окончанием периода вегетации прекращается и образование хлорофилла, зеленый цвет которого преобладал в окраске растений всю весну и лето.



У дубов и кленов в присутствии сахаров, задержанных в листьях внезапными заморозками, образуются антоцианы. Они-то и демонстрируют поздней осенью свой яркий красный цвет. Этот ежегодный парад наиболее эффектен в местах, где изобилуют листопадные деревья и где обычны ранние заморозки, за которыми следуют периоды теплой погоды.

Тургорное давление в клетках стебля подает тле непрерывный поток растворенного сахара. Погрузив свой маленький «стилет» в трубки, проводящие сахар, насекомое выпускает капли избыточной медвяной росы.

4

Движение воды в растении

Когда мы смотрим на зеленый ковер, который покрывает бо́льшую часть поверхности Земли — высокие деревья, густые кустарники, луга, усеянные яркими цветами, — нам сразу бросается в глаза неразрывная связь растений с водой. Там, где нет воды, нет растений; истинно безводные пустыни абсолютно бесплодны. И если вода — лишь одно из многих веществ, от которых зависит жизнь растений, то вещество это самое основное и важное. В воде жизнь впервые зародилась, без нее жизнь не может продолжаться и развиваться. Все химические реакции, происходящие в клетке, протекают в водной среде; именно с водой во все части организма переносятся необходимые вещества. Короче говоря, в растении ничего не происходит без участия воды.

Самым веским доказательством последнего положения может служить семя. Совершенно сухое семя — в котором приостановлена жизнь, не происходит никаких химических реакций и вообще нет никаких признаков жизни — в присутствии воды оживает. В состоянии покоя оно может переносить экстремальные температуры, намного ниже нулевой или близкой к точке кипения воды (не в самой воде, конечно); его можно хранить долгое время — сотни, возможно, тысячи лет. Но как только оно получит воду, оно начнет дышать — начнет активную жизнь. Молекулы воды проникнут сквозь внешние покровы семени, и внутри него начнутся различные жизненные процессы. Это происходит в тот момент, когда содержание воды в семени достигнет 8% его объема; при меньшем содержании семя остается инертным. Если влажность семени выше 12%, оно может прорасти. При содержании воды 8—12% ее хватает только для активизации процесса дыхания. Семя «пробудится», но еще не начнет жить. Не получая больше воды, оно будет медленно сжигать запасы питательных веществ и в конце концов полностью потеряет способность к прорастанию и погибнет. Вот почему семена на полках хранилища нельзя

держать дольше двух лет: обычно в воздухе достаточно влаги для очень медленного дыхания, но недостаточно для обеспечения роста. Правда, в сухом климате семена хранятся дольше, но даже в гробницах египетских фараонов есть какой-то процент влаги, и вопреки тому, что сообщается в газетах как сенсация, найденные в них семена, имеющие возраст 4000 лет, не прорастают.

Самыми древними и подлинно жизнеспособными оказались семена японского лотоса — они ожили и начали расти, когда их выкопали из нижнего кислого торфяного слоя и поместили в чистую пресную воду. Опыты по проверке жизнеспособности в вакууме семян проводятся и теперь, но чтобы узнать их конечные результаты, потребуется не одна тысяча лет. Пока же, после 10 лет хранения, в жизнеспособности семян 50 различных видов растений не произошло никаких изменений. Наряду с этим у семян некоторых других видов наблюдалась потеря жизнеспособности.

Совершенно очевиден факт, что, хотя большинство растений и животных давным-давно стали наземными организмами, совсем освободиться от воды они не смогли. Без нее они не могут начать жизнь и нуждаются в ней постоянно, пока не умрут. Возможно, простейшее решение водной проблемы было найдено животными, живущими на суше: вода, которую они носят в себе, приняла форму крови, а кожа стала относительно водонепроницаемой, чтобы сохранять эту воду в организме. Однако для пополнения воды, которую организм теряет в процессе дыхания, потоотделения и с прочими выделениями, животные должны пить, а это значит, что они не только должны иметь доступ к воде, но и получать ее в достаточно больших количествах (то есть нужно, чтобы она текла или чтобы ее можно было лакать). Это, естественно, ограничивает выбор мест обитания. И поэтому, например, в засушливых областях, где вода не выходит на поверхность земли, не встретишь крупных наземных животных.

Что же касается растений, то для них подобных ограничений не существует. Растения выработали совершенно иной способ удовлетворения потребности в воде: они могут брать воду из почвы в ничтожных количествах и гораздо эффективнее, чем животные, накапливать ее. Как только им удается обосноваться — даже в самых засушливых местах,— они начинают расти и процветать при условии, что их корни проникают глубоко вниз к незримым источникам воды, но лишь до тех пор, пока существуют эти источники. Если источник воды исчезает, даже пустынное растение и то со временем погибнет. В отличие от животного оно не в состоянии сняться с места и перейти туда, где может быть вода.

У растения нет такой водонепроницаемой кожи, как у животных, поэтому и проблемы у него иные. Поглощая в процессе фотосинтеза углекислоту и выделяя кислород, растение теряет из своих листьев водяные пары — обстоятельство, как мы увидим дальше, чрезвычайно важное для его системы водоснабжения. За определенный отрезок времени растение может потерять в сто раз больше воды на единицу веса, чем млекопитающее. Таким образом, если бы растение было вынуждено удовлетворять потребности своих клеток в воде тем же способом, что и животные, то есть посредством циркуляции какой-либо жидкости типа крови, то эта «кровь» должна была бы циркулировать и пополняться с невероятной скоростью.

Каким же образом растения все-таки решают водную проблему? С помощью сложной водопроводящей системы, которая начинается в корнях, поглощающих воду из почвы, продолжается в системе трубок, подающих воду ко всем частям растения, и заканчивается испарением воды из листьев в окружающий воздух. Казалось бы, довольно просто, на деле же все неизмеримо сложнее. В связи с этим возникают некоторые вопросы, требующие ответа, и вот первый из них: каким образом корни поглощают воду?

Это осуществляется в результате процесса, называемого осмосом, — движения жидкости через оболочку клетки. Корни молодых растений покрыты бесчисленными тончайшими корневыми волосками. Они проникают в самые мелкие трещины в почве и, обнаружив хоть немного влаги, поглощают ее. Мертвые клетки не обладают такой способностью; это можно продемонстрировать на простом опыте. Свежесрезанная и воткнутая в почву ветка ивы очень скоро пустит корни и будет поглощать воду, в которой она нуждается, в то время как палка, посаженная рядом, вряд ли вообще способна поглощать воду. Механизм этого явления был раскрыт примерно 150 лет назад французским физиком Рене Дютроше. Ученый взял свиной пузырь, иначе говоря, органическую, полупроницаемую перепонку, которая больше всего походила на клеточную оболочку, и обвязал им широкий конец воронки, наполненной солевым раствором. Затем поместил воронку концом, затянутым пузырем, в миску с водой. Почти немедленно объем солевого раствора в воронке начал увеличиваться, по-видимому, за счет поглощения воды из миски через перепонку. Клеточные стенки действительно обладают избирательной способностью пропускать молекулы воды, но задерживать молекулы солей и сахаров. Кроме того, солевой раствор оказался способным притягивать воду. Чем концентрированнее солевой раствор, тем больше он засасывает воды вплоть до момента, когда в воронке создастся значительное давление. 6%-ный солевой раствор (чайная ложка соли на чайную чашку воды) создает давление 50 атмосфер. Поскольку 1 атмосфера соответствует давлению 1 килограмма на 1 квадратный санти-

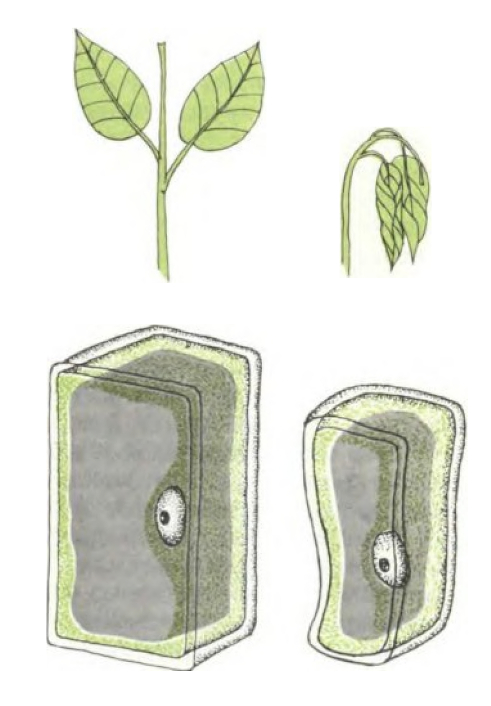
метр, мы видим, что эта величина весьма значительна; она не уступает тем высоким давлениям, с которыми приходилось иметь дело в паровых машинах.

Прибор Дютроше, получивший название осмометра, дублирован в каждой живой клетке, в том числе и в клетках растений. Выше мы уже выяснили, каким образом живая протоплазма растительных клеток удерживает внутри вакуоли растворенные в воде вещества — антоцианы, танины и сахара. Именно эти вещества благодаря осмосу притягивают воду в клетку через ее полупроницаемую оболочку и тем самым возмещают потерю воды. По мере поглощения воды давление в клетке возрастает. Как только оно уравновесится с противодействием довольно неэластичной клеточной оболочки — подобно тому, как это происходит в футбольной камере, когда ее накачивают внутри кожаной покрышки мяча, — вода перестанет поступать в клетку, так как оболочка клетки способна растягиваться только до определенных пределов.

Внутреннее давление, возникающее внутри клетки, или так называемый тургор, объясняет еще одну особенность растений — их упругость. Подобно покрышке хорошо надутого футбольного мяча, оболочка клетки под воздействием внутреннего давления становится упругой. Эта упругость, тысячекратно повторенная всеми отдельными клетками стебля, ветвей и листьев, поддерживает тело растения. Когда растение теряет воду в результате испарения ее в окружающий воздух, тургор клеток уменьшается и их упругость снижается. При недостатке воды тургор полностью исчезает, листья и травянистые стебли становятся все менее упругими и растение увядает.

Тургор можно устранить и иным способом — нарушив полупроницаемость клеточных перегородок и освободив тем самым содержавшиеся внутри них сахара́ и соли. Это достигается высокой температурой. После того как мы подержим листья шпината или салата-латука в кипящей воде, они становятся мягкими, как будто увядшими. Однако определенные части стеблей растений и даже листья некоторых растений не размягчаются при кипячении; их жесткость обусловлена прочными клеточными оболочками, на которые, как и на оболочки клеток древесины и некоторых лубяных волокон, кипячение не влияет.

Движение воды в результате осмоса — процесс медленный — такой же медленный, как смешивание чая с сахаром на дне чайной чашки, когда этому не помогают ложкой. Кроме того, существует известный предел насыщения водой отдельной клетки, что легко показать на простом опыте. Однако, если поглотительная способность соседних клеток различна, они могут передавать воду



ОТ ТУРГОРА К УВЯДАНИЮ

Когда воды много, все клетки растения до предела насыщаются влагой, достигая состояния сильного оводнения, называемого тургором. Части мягкого стебля стоят вертикально, листья упруго подняты. У растения в состоянии тургора центральные вакуоли каждой клетки заполнены водой (слева) и протоплазма, окружающая вакуоль, отжата к клеточной оболочке, которую она туго растягивает. Когда растение в результате транспирации теряет больше воды, чем оно может поглотить через корни, вакуоль сжимается, натяжение оболочки клетки спадает (справа). Тургор растения уменьшается, и оно начинает увядать. Если вода от корней так и не поступает, растение гибнет.

друг другу. С потерей какого-то количества воды давление на оболочку клетки уменьшится, но ее осмотический потенциал при этом не снизится, поскольку все соли и сахара́ сохраняются. Такая клетка может оттянуть воду из соседней клетки, у которой запас воды больше, а та в свою очередь может отобрать воду у еще менее «жаждущей» и т. д. Таким образом, существует как бы цепь клеток, один конец которой соприкасается с запасом воды в почве, а другой выделяет воду в воздух. У промежуточных клеток способность к поглощению воды различная, и потому они могут передавать воду друг другу осмотическим путем. Клетка, ближайшая к воде (например, клетка корневого волоска), облада́ет наименьшей поглотительной способностью, тогда как клетка на другом конце цепи наиболее «томима жаждой».

Чтобы поддерживать движение воды вдоль всей цепи, необходима довольно большая разница в поглотительной способности соседних клеток — примерно около $1/2$ атмосферы при нормальных условиях. Поскольку осмотическое давление в обычных растительных клетках колеблется от 10 до 20 атмосфер, количество клеток в такой осмотической цепи, а значит, и размеры растения должны быть ограничены. Мы знаем, что диаметр средней клетки составляет примерно 0,01 сантиметра; следовательно, высота растения, в котором вода перемещается только осмотическим путем, не должна превышать 0,6 сантиметра. Именно такую высоту имели самые ранние примитивные растения — тонкие листовидные образования (их наиболее близкими современными двойниками, вероятно, являются печеночники и заростки папоротников), почти лежавшие на влажной почве. В почву проникали ризоиды — тонкие образования, напоминающие корневые волоски, — которые имелись на их нижней стороне.

Но высота современных наземных растений, как правило, намного больше 0,6 сантиметра. Как же вода перемещается в них?

Ясно, что один осмотический путь для этого недостаточен, хотя он и играет жизненно важную роль в движении воды в растении — подводит воду к «трубам», обслуживающим растение. Имеется еще какой-то фактор в корневой системе, правда, до сих пор не вполне нам понятный, который заставляет воду поступать в сосуды, подающие ее кверху. Это создает положительное давление, которое в свою очередь вызывает гуттацию (образование капелек воды на краях листьев растений по утрам), а также заставляет пни деревьев «сочиться» в течение нескольких дней или недель после того, как дерево спилено, причем из срезанной поверхности вытекает почти чистая вода, особенно у краев. Сок выталкивается с большой силой, и одно время ученые полагали, что именно давление, создаваемое в корнях, заставляет воду подниматься до самой верхушки деревьев. Однако от этой гипотезы пришлось отказаться, когда манометры, помещенные в основания стволов, показали, что высокий уровень корневого давления отмечается только сразу после восхода солнца. Утром это давление быстро снижается, доходит до нуля и, наконец, возникает отрицательное давление, или всасывание. Следовательно, корневое давление прекращается как раз в то время, когда растение сильнее всего нуждается в воде, — в жаркие полуденные часы.

Правильно объяснить движение воды в растении можно, лишь представив его как массовый поточный расход. Здесь действует тот же принцип, что и в водопроводной системе в домах: вода поступает в трубы под давлением, распределяется по кранам, туалетным бачкам, ваннам и душам и выливается из них. В крупных наземных растениях мы встречаем именно водопроводящую систему, полностью сформированную в длинных трубчатых клетках, или сосудах, которые несут воду от водопоглощающих клеток в корнях до самых верхних и отдаленных частей растения. Чтобы понять, что представляет собой сила, подающая воду во все трубки и жилки растения, рассмотрим явление, которое происходит на периферии этой системы, на поверхности листьев. Речь идет о диффузионном процессе, аналогичном осмосу, только, в отличие от него, связанном с движением молекул воды сквозь оболочки клеток листа наружу, в воздух. Потеря воды через листья в воздух называется транспирацией.

Итак, вода поступает в корневые волоски растения путем осмоса и испаряется из листьев путем транспирации; поэтому совершенно ясно, что должен существовать довольно постоянный ток воды в растении. Ясно также, что для того, чтобы предотвратить увядание растения, любая потеря воды у одного его конца должна быть уравновешена поступлением воды с другого. Это дает основание предполагать, что скорости поступления воды и ее испарения примерно одинаковы. Они и в самом деле одинаковы, если учитывать суммарные количества воды. Однако водопоглощающая способность корневых волосков неизмеримо ниже водопоглощающей способности воздуха в верхней части растения, где находятся листья. Разница уравновешивается большей поглощающей поверхностью корневых волосков, благодаря чему они и восполняют ту воду, которую листья теряют путем транспирации. Но, с другой стороны, высокая поглотительная способность сухого воздуха создает силу, позволяющую воде всасываться из корней на расстояния, которые подчас достигают нескольких десятков метров у высоких деревьев.

Столь высокую поглотительную способность сухого воздуха должен, видимо, ограничивать какой-то механизм, иначе, если по какой-либо причине подача грунтовой воды уменьшится или даже временно прекратится в период засухи, растение полностью высохнет. Такая ограничительная система действительно есть, и она расположена в листе, то есть там же, где происходит транспирация. Эта система выполняет двойную функцию: с одной стороны, она регулирует потерю воды, а с другой — регулирует поглощение воздуха с содержащейся в нем и необходимой растению углекислотой. Чтобы убедиться в том, как это происходит, рассмотрим под микроскопом срез листа и изучим проводящие системы, которые обеспечивают его водой и воздухом.

Таких систем две: одна из них присоединена к системе, подающей воду из корней, другая ведет к внешней стороне листа, к воздуху. Обе важны для основной функции листа — фотосинтетического преобразования световой энергии в химическую. В тонкой структуре листа клетки размещены так, чтобы поглощать как можно больше света, его внутренняя водопроводящая система должна эффективно действовать лишь в очень ограниченном пространстве. Любая клетка листа удалена от системы, снабжающей ее водой, не более чем на 10—20 клеток.

Вода поступает к клеткам листа через тонкие пучки трубковидных клеток, радиально расходящихся от более крупных сосудистых пучков, сосредоточенных в средней жилке листа. Эти пучки в свою очередь разветвляются на более мелкие жилки, доходящие до самых краев листа, и по мере необходимости клетки получают из них воду. В то время как жилки соединены с общей водопроводящей системой растения, доступ к наружному воздуху обеспечивается системой воздушных каналов, которые ведут к многочисленным мелким порам в прочной, прозрачной внешней оболочке листа, или многоклеточном эпидермисе. При достаточном водообеспечении клетки имеют возможность терять часть воды через эти воздушные каналы, которые одновременно открывают им доступ к атмосферной углекислоте.

Сами поры, получившие точно характеризующее их название устьиц, снабжены механизмом, который регулирует скорость потери воды. Каждое устьице окружено двумя замыкающими клетками и с их помощью может открываться или закрываться. Этот механизм действует в соответствии с водообеспеченностью листа: когда воды много, замыкающие клетки набухают, и поскольку на концах эти клетки толще (они напоминают миниатюрные серповидные фасолины), их набухание приводит к расхождению более тонких средних частей с образованием открытой щели. Когда тургорное давление падает, то есть когда лист нуждается в воде, съеживание замыкающих клеток заставляет щель сузиться и даже закрыться, и транспирация приостанавливается, пока клетки не пополнятся водой и устьица не откроются снова.

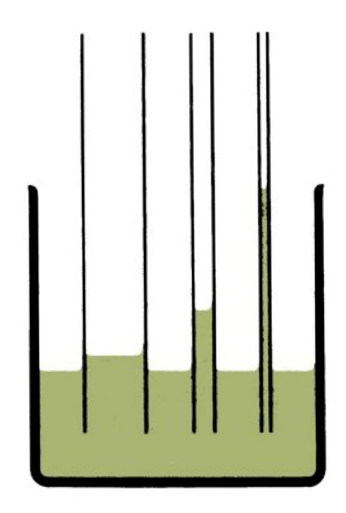
Такая система отличается высокой эффективностью; по большей части она работает бесперебойно. Лишь при длительной засухе растение увядает необратимо, поскольку даже с закрытыми устьицами поверхность листа не является полностью водонепроницаемой, а при огромной сосущей силе сухого воздуха она будет терять небольшие, но критические количества воды. Однако растение снабжено еще одним вспомогательным механизмом, который выполняет роль балансира. При определенном запасе времени растение может расширить свою корневую систему в поисках дополнительных количеств воды и таким образом восстановить равновесие. Оказалось, например, что общая протяженность корней четырехмесячного растения озимой ржи достигает 619 километров. Следовательно, его корни росли со скоростью свыше 4,8 километра в сутки и ежесуточно образовывали более 100 миллионов корневых волосков. Так была создана суммарная водопоглощающая поверхность площадью свыше 638 квадратных метров. Этот пример ярко иллюстрирует способность растения извлекать воду из почвы.

Не менее важно и то обстоятельство, что листья, используя разницу в градиенте влаги между корнями и листьями, всасывают воду через всю систему растения. Когда мы доходим до этого места в своих объяснениях, студенты-физики обычно предупреждающе поднимают руку: возможно ли, чтобы вода всасывалась через такое крупное растение, как, например, дерево? Ведь существует предел давления, при котором разорвется столб воды. Этот предел составляет 1 килограмм на 1 квадратный сантиметр, и самая большая высота, на которую насос может поднять воду, равна примерно 10 метрам. Каким же образом дерево секвойи поднимает воду на высоту, в десять раз большую?

С этой проблемой столкнулись ботаники минувшего столетия. Возможно, рассуждали они, живые клетки древесины действуют подобно насосу. Но это предположение было исключено несколькими достаточно показательными опытами. Польский ботаник Эдвард Страсбургер подверг кипячению 12-метровый участок свернутого кольцами ствола глицинии, убив тем самым все живые клетки древесины, после чего вновь водрузил ствол на крышу своего дома. Листья на лиане не увяли. Это могло свидетельствовать лишь об одном: что они всасывали воду и без участия живых

клеток. В опытах на деревьях высотой более 12 метров Страсбургер доказал, что вода подается вверх бесперебойно, и никаких признаков увядания не наблюдается даже в тех случаях, когда все клетки древесины убиты сильнодействующим ядом.

Стало ясно, что с вертикальным движением воды в стеблях растений связаны какие-то к тому времени еще не известные физические явления. Только через пять лет после опытов Страсбургера, в 1891 году, было наконец найдено объяснение: ученые обнаружили явление когезии. Грубо говоря, когезия — это взаимное притяжение молекул, в силу которого молекулы воды прочно держатся вместе и противодействуют разъединению. Вот почему мы имеем возможность осторожно наполнить водой чашку выше ее краев. В тонкой трубке сцепление создает довольно значительные силы. Так, в растительной клетке необходимо приложить усилие во много тысяч килограммов на 1 квадратный сантиметр, чтобы разорвать нитевидный, заключенный в трубку столб воды и создать вакуум. Следовательно, лист может всасывать воду из водопроводящей системы растения с силой в сотню атмосфер. Благодаря этому вода поднимается до вершин таких деревьев-великанов, как калифорнийские секвойи высотой более ста метров или девяностометровые австралийские эвкалипты.



ПОДЪЕМ ВВЕРХ

Молекулы воды обладают двумя свойствами, очень важными в системе водоснабжения растения. Первое из них — это адгезия, притяжение жидкости твердой поверхностью стенок сосуда. Как показано на рисунке, тенденция к прилипанию заставляет воду подниматься вверх по трубке. Чем уже трубка, тем выше будет подниматься вода. Даже в широком сосуде, содержащем три трубки, силы притяжения заставляют воду слегка подниматься у каждой границы соприкосновения со стенками. Прилипание является основой капиллярного эффекта, заставляющего воду подниматься в узких сосудах растения.

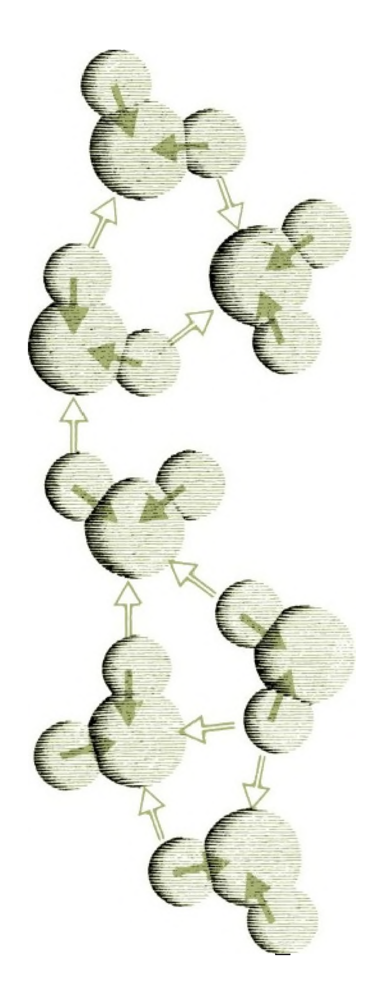
Большую часть воды в почве составляет дождевая вода, и теоретически она должна быть такой же чистой, как дистиллированная. К счастью, на деле все обстоит иначе — ведь для существования растений необходима не только вода, но и минеральные соединения, соли. Минеральные соли освобождаются в результате выветривания горных пород и почвы — непрерывного процесса, который особенно бурно протекает при высоких температурах. Осадки растворяют большую часть образовавшихся солей и смывают их в водоемы; так сохраняется необходимое для жизни равновесие минеральных веществ. Однако в пустынях, где дожди редки, соли накапливаются подчас в таких количествах, что в почве их содержится куда больше, чем в клетках растений. В подобных условиях направление осмоса будет обратным: из растений, растущих на засоленных почвах, извлекается вода, тем самым они обезвоживаются и погибают. В пустынях нередко встречаются «солончаковые равнины», где совершенно нет растений. Примером тому могут служить пустыни Большого Соленого Озера или район Мертвого моря.

В океане концентрация солей также велика, поэтому в морской воде растут лишь очень немногие наземные растения (не считая особо приспособленных для этого мангровых деревьев).

Большинство прибрежных растений, такие, как кокосовые пальмы, например, как это ни парадоксально, существуют за счет пресной воды. Побережье является их местообитанием только потому, что семена пальм — кокосовые орехи — разносятся морскими течениями: но они так же не приемлют соленую воду, как и все прочие растения. Корни кокосовых пальм по существу не соприкасаются с морской водой, а доходят лишь до пресной воды, которая, будучи легче соленой, находится над нею. Таким образом, когда в тропических районах с песчаными почвами идет дождь, дождевая вода повышает уровень грунтовых вод в песке, оттесняя соленую воду вниз и к морю. Поэтому жители прибрежных районов для выкачивания пресной воды вбивают в грунт короткие трубы — глубокие скважины поставляют лишь соленую воду. Этим же объясняется и тот факт, что солончаковые почвы Зёйдер-Зе (Голландия) удалось использовать для выращивания сахарной свеклы и ячменя всего через несколько лет после их освоения. В первые годы после удаления морской воды осадки поставляли ежегодно до 750 миллиметров пресной воды, и эта вода оттеснила вниз морскую воду, образовав слой, вполне достаточный для произрастания и созревания сахарной свеклы и ячменя. Если бы эти культуры расходовали больше 750 миллиметров пресной воды, уровень соленой воды поднялся бы и почва оказалась бы непригодной для выращивания обеих культур.

Уровень, которого растения достигают в поисках воды, их приспособляемость к разнообразным условиям водообеспечения лучше всего иллюстрируют растения пустынь и степей. Они произрастают в условиях явного недостатка воды, но это им не мешает. Многие из растений, которые мы считаем засухоустойчивыми, в действительности просто уходят от засухи, не вырабатывая при этом особой устойчивости к ней. Так, семена всех пустынных однолетников остаются в состоянии покоя до тех пор, пока почва после выпадения осадков не получит достаточно влаги. Вот почему растения пустыни расцветают только в тех редких случаях, когда пройдет сильный дождь, причем пройдет в нужное время, в октябре — ноябре. Только это может заставить прорасти семена растений.

Существуют пустынные растения — они называются фреатофитами, — корни которых проникают глубоко вниз до подпочвенных хранилищ воды. Они так хорошо находят постоянные источники воды, что люди, следуя за ними, стали копать колодцы в местах их произрастания. К таким растениям-индикаторам относится, например, прозопис сережкоцветный; он растет только там, где в почве на глубине не свыше девяти метров имеется вода, и многие колодцы в калифорнийской пустыне выкопаны между зарослями



ВТЯГИВАНИЕ НАВЕРХ

Сцепление — второе свойство воды, чрезвычайно важное для ее перемещения в растении. В каждой молекуле воды пара атомов водорода (малые шарики) соединены (цветные стрелки) с одним атомом кислорода (шарики покрупнее). В то же время атом кислорода привлекает атомы водорода ближайших молекул воды (светлые стрелки). Это вторичное привлечение создает силы натяжения до 140 килограммов на квадратный сантиметр в тонком столбе чистой воды. Сцепление помогает растению поднять воду значительно выше, чем это может сделать любой насос.

прозописа. Точно так же платан почти наверняка указывает на существование подпочвенной воды на глубине всего каких-то трех метров. Калифорнийская пальма с веерообразными листьями также растет только там, где вода близко подходит к поверхности.

Суккуленты с их вздутыми стеблями или утолщенными листьями не полагаются на сколько-нибудь постоянный источник воды — они запасают воду в собственных тканях. Таковы ледяная трава с ее толстыми мясистыми листьями или хорошо знакомые нам пустынные кактусы с их бочковидными стволами и вздутыми ветвями. Стебли и листья этих растений покрыты толстым слоем кутина, который препятствует потере воды на транспирацию. Во время довольно редких в пустыне дождей они до предела наполняются водой и благодаря этому переживают долгие засушливые периоды. Существует несколько шаровидных кактусов, способных больше года жить за счет однократного наполнения тканей водой.

Другие пустынные растения приспособились к засушливым условиям, развив эффективную корневую систему, способную отыскивать и использовать даже минимальные количества воды. Одним из таких растений является креозотовый кустарник с широко и глубоко простирающимися корнями. Но и эти растения, подобно другим, не выносят длительной засухи. А вот американский карликовый кедр (*Peucephyllum*) может полностью отказаться от почвенной воды: как ни удивительно, он может существовать только за счет водяных паров воздуха, пополняя свои запасы влаги каждую ночь, когда даже в пустыне воздух насыщен влагой. Одно из растений пустыни Сахары, каперсник (*Capparis spinosa*), по-видимому, обладает той же способностью — оно остается пышным и зеленым несмотря на сильнейшую засуху. Оба упомянутых растения живут в экстремальных условиях, непрочно прикрепляясь к голой скале, — безусловно, самому скудному источнику воды для их корней.

Таким образом, из 250 000 видов цветковых растений нам известно всего два вида, которые действительно могут обойтись без воды в жидкой форме, в то время как все другие нуждаются в ней — постоянно или периодически. Она нужна не только для осуществления жизненно важного процесса фотосинтеза — главного источника энергии, но и для обеспечения питательными веществами из почвы, необходимыми им для роста. Каковы эти питательные вещества, как растения используют их и каким образом человек научился увеличивать их количество, чтобы выращивать большие по размеру и лучшие по качеству урожаи культур,— об этом мы расскажем в одной из следующих глав.

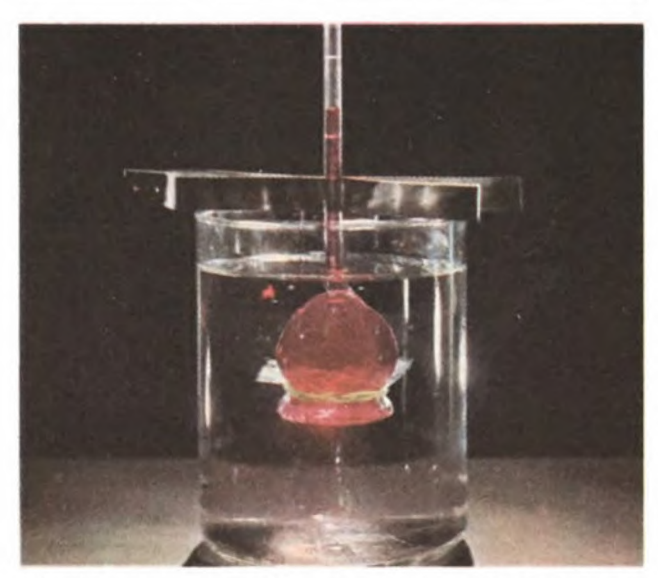
Эти капли на краях листьев земляники — не утренняя роса, а просто избыток воды, выделяющийся из самого растения.

ПОВСЕДНЕВНАЯ ПОТРЕБНОСТЬ

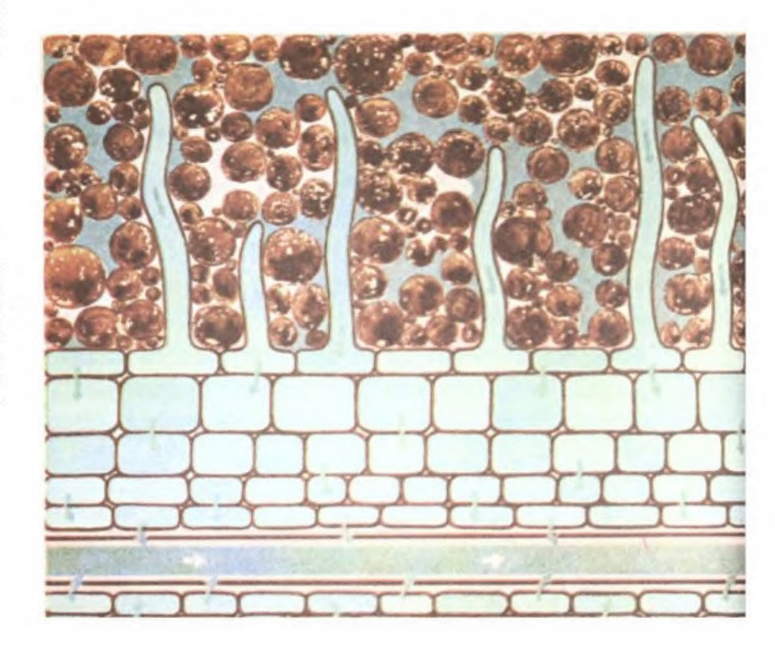
Потребность растения в воде возникает с момента прорастания семени, и эта потребность возрастает на протяжении всей его жизни. Вода, поглощаемая корнями, используется во всех химических реакциях, переносит питательные вещества, поддерживает упругость растения и, наконец, удаляется из листьев в виде пара или жидкости. Для поддержания своего водообеспечения растения создали чрезвычайно эффективную водопроводящую систему и различные способы накопления запасов воды.

Как вода поднимается в растении

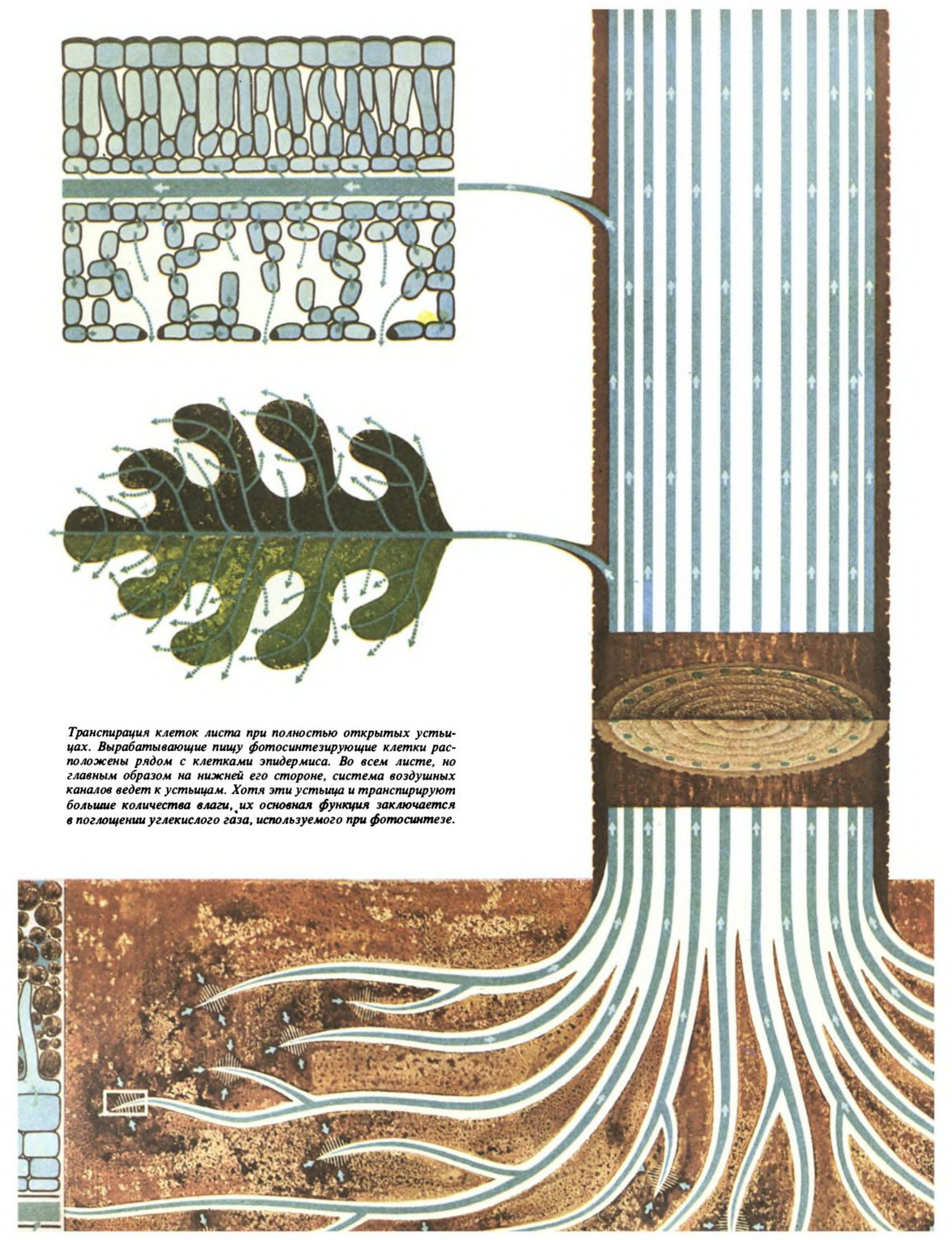
Восходящий ток воды в растениях начинается в тонких корневых волосках, являющихся одноклеточными образованиями. Благодаря осмотическому давлению почвенная вода диффундирует в эти клетки сквозь их полупроницаемые оболочки, разбавляя содержащиеся в них растворы сахаров, солей и прочих компонентов клеточного сока. По мере разбавления клеточного сока водой осмотическое давление повышается, клетки увеличиваются до тех пор, пока их оболочки не растянутся до возможного предела, а клетки не достигнут полного тургора. В результате осмоса вода через корневые волоски и клетки корней поступает в главные сосуды, ведущие к стеблю. Возросший тургор в этих клетках создает эффект корневого давления, вполне достаточного, чтобы подать воду в стебель или ствол растения и вызвать гуттацию — утреннее выделение капель воды на краях листьев растений. Однако сила, которая поднимает тонны воды к вершине гигантской секвойи или какие-то граммы ее к цветку фиалки, имеет другую природу; она возникает в результате транспирации — потери растением водяных паров через миллионы мельчайших пор на поверхности листьев. Одно растение кукурузы транспирирует более двух литров воды за день, а гектар посевов кукурузы — более 2 362 500 литров воды за сезон. Такая потеря воды может быть восполнена только за счет деятельности корней; вода течет по мириадам тонких трубок в стеблях и ветках растения, втягиваемая наверх сосущей силой в листьях, причем неразрывность этих тысяч поднимающихся столбиков поддерживается силами сцепления самих молекул воды. Внизу и справа в продольном и поперечном сечениях показана вся водопроводящая система типичного лиственного дерева — от одноклеточных корневых волосков до клеток, регулирующих транспирацию в листьях.



Для демонстрации осмоса отверстие стеклянной воронки, наполненной сахарным раствором, плотно закрывают полупроницаемой перепонкой и перевернутую воронку погружают в воду. Вода диффундирует через перепонку вверх, разбавляя раствор, пока не будет достигнуто равновесие в давлении двух жидкостей. Тем временем возрастающее давление поднимает раствор в трубке воронки.



Микроскопические корневые волоски справа — это увеличенный кусочек обведенного на соседнем рисунке участка корня. Они разыскивают влагу в почве и увеличивают поглощающую поверхность корней в 20 раз. Вода и растворенные в ней питательные вещества поступают в корневые волоски благодаря осмотическому давлению и диффундируют сквозь слои клеток корня к главной системе сосудов, идущей вверх по стволу дерева к листьям (показано стрелками).



Транспирация клеток листа при полностью открытых устьицах. Вырабатывающие пищу фотосинтезирующие клетки расположены рядом с клетками эпидермиса. Во всем листе, но главным образом на нижней его стороне, система воздушных каналов ведет к устьицам. Хотя эти устьица и транспирируют большие количества влаги, их основная функция заключается в поглощении углекислого газа, используемого при фотосинтезе.

В похожих на перископ стеблях кувшинки воздух к корням подается по нескольким крупным каналам.

Проблема избытка влаги

Водных обитателей из мира растений называют гидрофитами. Некоторые из них, например представители семейства рясковых, плавают на поверхности водоемов. Другие погружены в воду; они создают подводные луга, приподнимая над водой свои крошечные белые цветки (осоки и водные растения), или укореняются на дне, посылая длинные стебли вверх, к воздуху (понтедерия и кувшинки). Поскольку эти растения живут в условиях избытка влаги, самое главное для них — найти и сохранить источник воздуха, и они наилучшим образом к этому приспособлены. Подводные растения используют в процессе фотосинтеза солнечный свет, проникающий в воду до глубины 4,5—6,0 метров, и через проницаемую внешнюю оболочку поглощают растворенные в воде газы. Те плавающие или погруженные в воду растения, которые сохраняют непосредственный контакт с воздухом, подают его вниз из листьев в стебли и даже в корни через многочисленные межклеточные каналы.

Высоко над водой поднимаются тропические кувшинки. Плавающие листья кувшинок функционируют подобно листьям наземных растений, но их устьица располагаются только на верхней поверхности и они не имеют водоотталкивающего покрытия.

Суккулент бриофиллум с мясистыми листьями (слева) — растение сухих местообитаний и колеус — растение умеренной зоны.

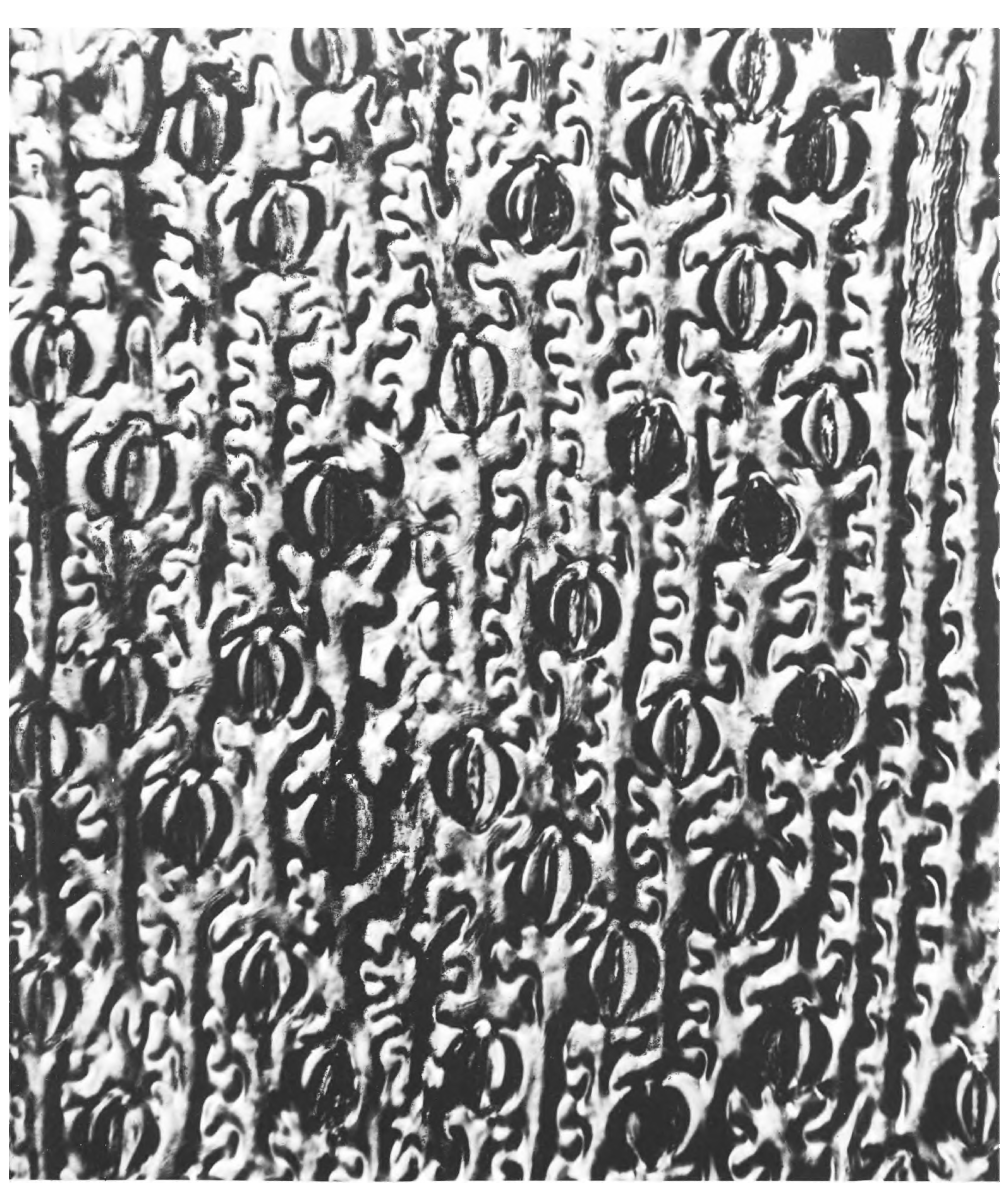
Без воды оба растения погибают, но бриофиллум, запасающий больше воды и меньше отдающий ее, оставался живым более 120 часов, тогда как у колеуса необратимое увядание наступило уже через 36 часов.

Этот засухоустойчивый суккулент с Мадагаскара Kalanchoë tubiflora имеет похожие на колышки кожистые листья, для которых характерны небольшое число устьиц и крупные клетки для хранения запасов воды.

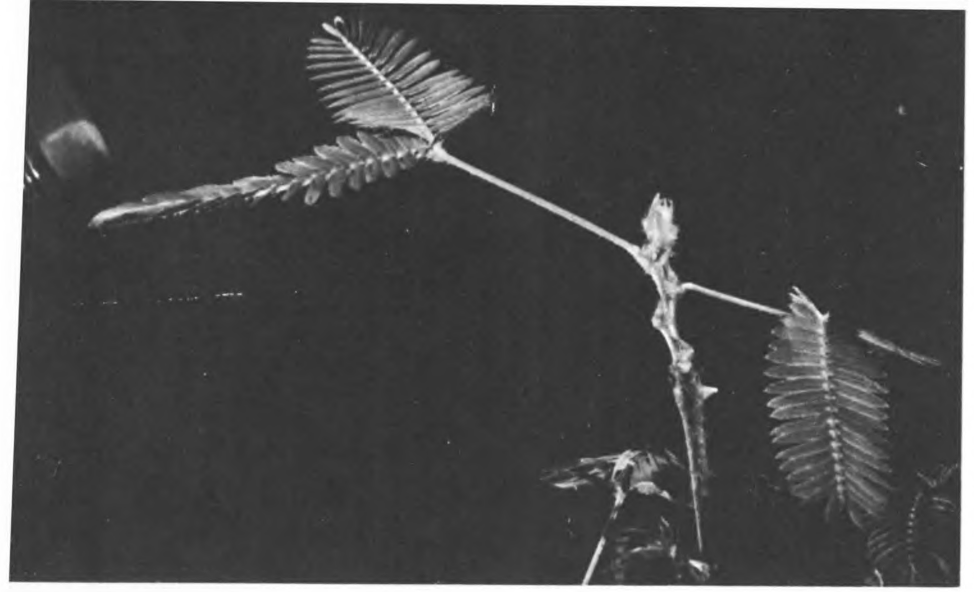
Проблема засухи

Что заставляет листья растений поникать или закручиваться кверху в жаркие летние послеполуденные часы, хотя на следующее утро они снова выглядят упругими и свежими? Это результат осмотического давления или тургора. В дневные часы, когда химические процессы в растениях протекают наиболее активно, это давление постепенно снижается, а за ночь, по мере того как корневая система пополняет запасы воды, повышается. Однако при изменившихся погодных условиях меняется и этот нормальный суточный цикл. В прохладные пасмурные дни, например, тургор листьев вообще не падает и все устьица, регулирующие транспирацию, будут оставаться открытыми. Но в очень жаркий, сухой день устьица могут закрыться уже рано утром, чтобы предотвратить чрезмерную потерю воды.

В условиях засухи растения увядают и не могут оправиться, если вовремя не получат воду. Во всех клетках корней, стебля и листьев происходит процесс, как бы обратный осмосу. Реакция отрицательного давления распространяется вниз по растению, нарушая структуру его клеток. Однако виды, которые приспособились к полузасушливому климату, способны выдерживать довольно долгую засуху. Растения, известные как суккуленты, имеют мясистые листья, поверхность которых часто блестит от обилия удерживающего воду воска, и сравнительно немного устьиц. Засухоустойчивость кактусов, наиболее распространенных растений пустыни, объясняется обширной сетью корней, до предела насыщающихся влагой довольно редких дождей. Эта случайно накопленная вода перемещается в мясистые части растений, где и хранится.

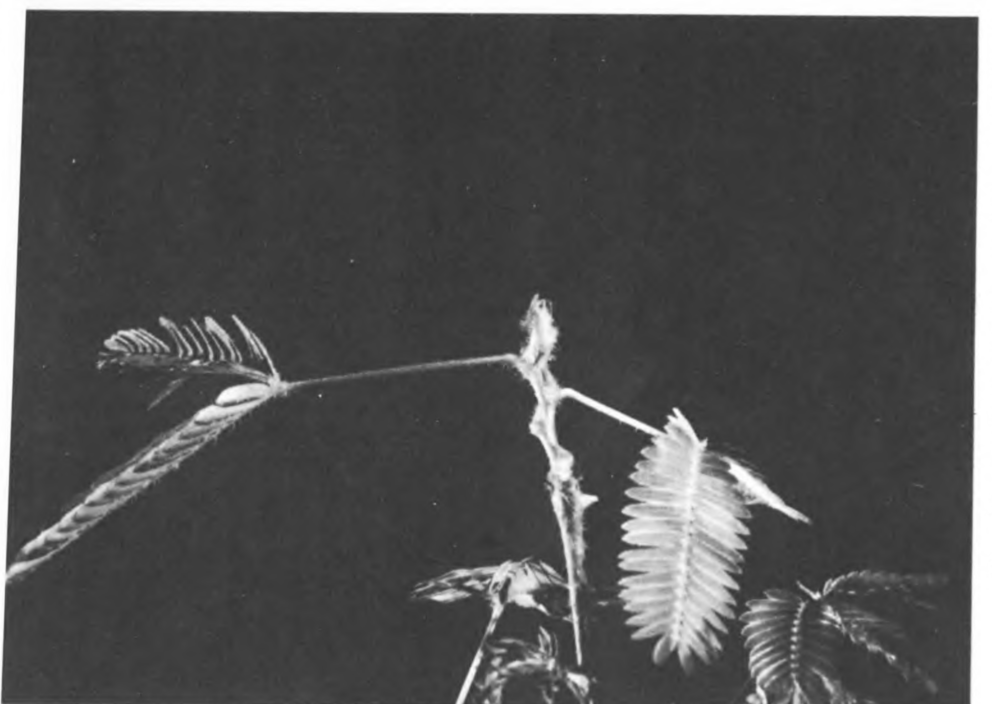


На микрофотографии листа лилии кудреватой — устьица на различных стадиях раскрывания и закрывания. Каждое из них ограничено двумя замыкающими клетками, которые с увеличением содержания воды заставляют устьица открываться. При снижении тургора замыкающие клетки сникают, закрывая устьица, и транспирация прекращается частично или полностью.



«Чувствительное» растение

Многие растения, включая злаки, бобовые и один вид мимозы, называемой «стыдливой мимозой», реагируют на прикосновение, тепло или иные раздражения свертыванием и кажущимся увяданием. Эти движения обусловлены внезапными изменениями водного баланса. Структура листа мимозы сложна: вдоль каждого из разветвлений листа симметрично расположено много мелких листочков. Каждый листочек у места своего прикрепления имеет утолщение, аналогичное утолщение есть и у главных черешков сложного листа в местах их присоединения к стеблю. Эти странные утолщения и являются «чувствительными» органами: их тонкостенные клетки снабжаются водой через тонкие ответвления центральной водопроводящей системы растений. Любое легкое прикосновение нарушает водный баланс в одном или во всех утолщениях у оснований листочков; более сильное вызывает аналогичную реакцию и в клетках такого же органа у главного черешка. В некоторых случаях реагируют все листья на растении стыдливой мимозы.

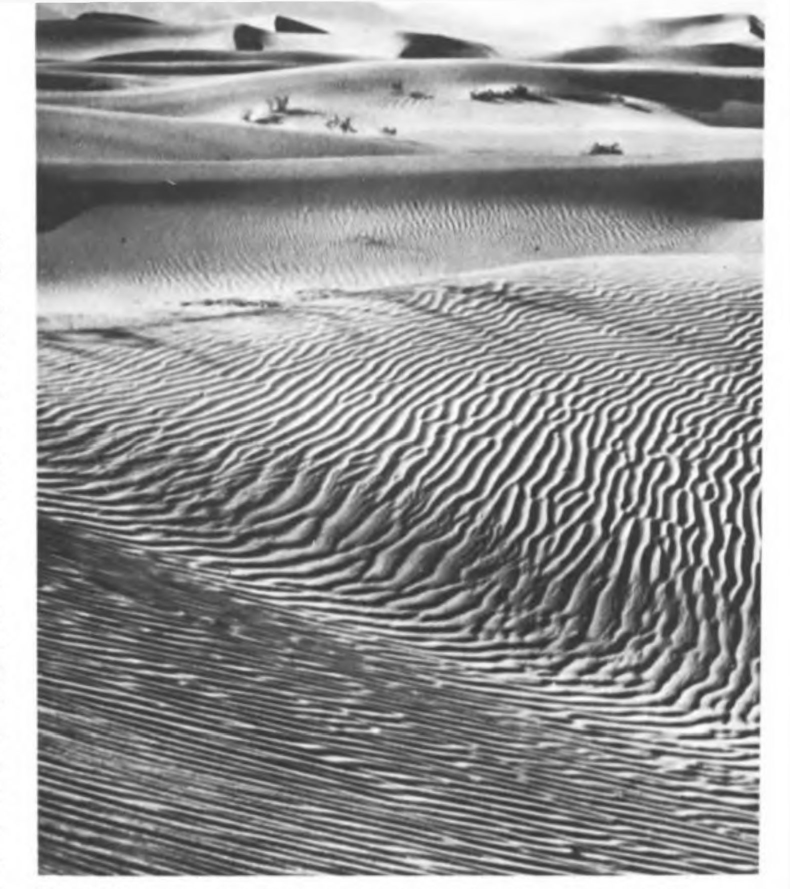


В чувствительных органах мимозы, расположенных у основания листочков, хранится вода. Когда к листочкам прикасаются, происходит отток воды, что вызывает потерю тургора, — и листочки складываются. Как только потеря тургора произойдет в клетках у основания главного черешка, повисает и он.

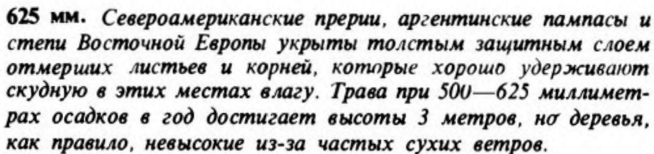
При полном коллапсе мимоза с плотно прижатыми листьями кажется съежившейся и увядшей. Такое состояние наступает не более чем через секунду, а на восстановление утраченного тургора уходят часы.

Дождь, несущий жизнь

Ни одно растение не может существовать без воды, многие из них растут и размножаются только в водной среде. Растения, обитающие на суше, также зависят прежде всего от осадков — этого жизненно важного фактора обеспечения водой. И хотя в комплексе условий местообитания растений играют свою роль и продолжительность дня, и многие другие факторы, все же наиболее важным среди них являются осадки. Мировой рекорд по количеству осадков — более 11500 миллиметров в год — держит гора Ваиа леале на острове Гавайи. На противоположном конце шкалы находятся пустыни земного шара, где на протяжении ряда лет может вообще не выпасть ни капли дождя; поэтому в длительные периоды засухи между случайными ливнями выживают лишь наименее требовательные растения. В районах, не тронутых человеком, с большим количеством годовых осадков разрастаются прежде всего злаки: в ландшафте доминируют обширные прерии, такие, какими были когда-то Великие равнины. По мере увеличения осадков вслед за злаками появляются деревья, которым требуется гораздо больше воды, а в местах с обильными дождями природный ландшафт представлен исключительно лесами.



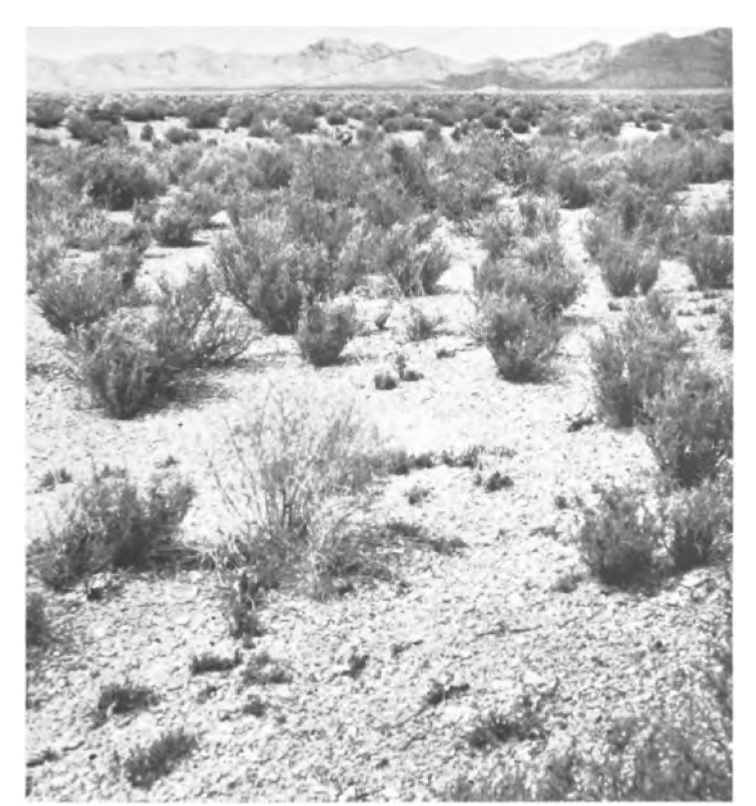
0 мм. *Экстремальные пустыни, такие, как в нижнем течении реки Колорадо, могут годами оставаться без дождей. Затем случайный дождь за какой-нибудь час выливает тонны воды, и семена, долго находившиеся в состоянии покоя, прорастают. Тогда пески, кажущиеся бесплодными, оживают — растения цветут и дают новые семена, которые будут лежать невидимыми до следующего ливня.*



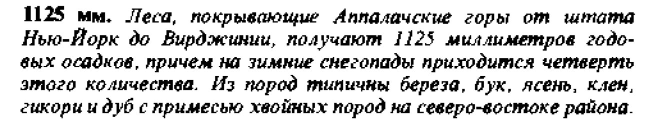
625 мм. *Североамериканские прерии, аргентинские пампасы и степи Восточной Европы укрыты толстым защитным слоем отмерших листьев и корней, которые хорошо удерживают скудную в этих местах влагу. Трава при 500—625 миллиметрах осадков в год достигает высоты 3 метров, но деревья, как правило, невысокие из-за частых сухих ветров.*

875 мм. *При ежегодном количестве осадков, равном 875 миллиметрам (среднем для Атлантического побережья США от Нью-Джерси до Флориды), могли бы обильно расти леса. Однако вода — это не единственный фактор, влияющий на растительность. На песчаных, выщелоченных почвах этого района имеются только чахлые древостои сосны.*

125 мм. *Жаркая пустыня, простирающаяся от Мексики до юго-запада США, редко получает больше 125 миллиметров осадков в год. К экономно расходующим воду растениям этой местности относится юкка древовидная. Иногда ошибочно принимаемая за кактус, эта юкка в действительности является представителем лилейных.*

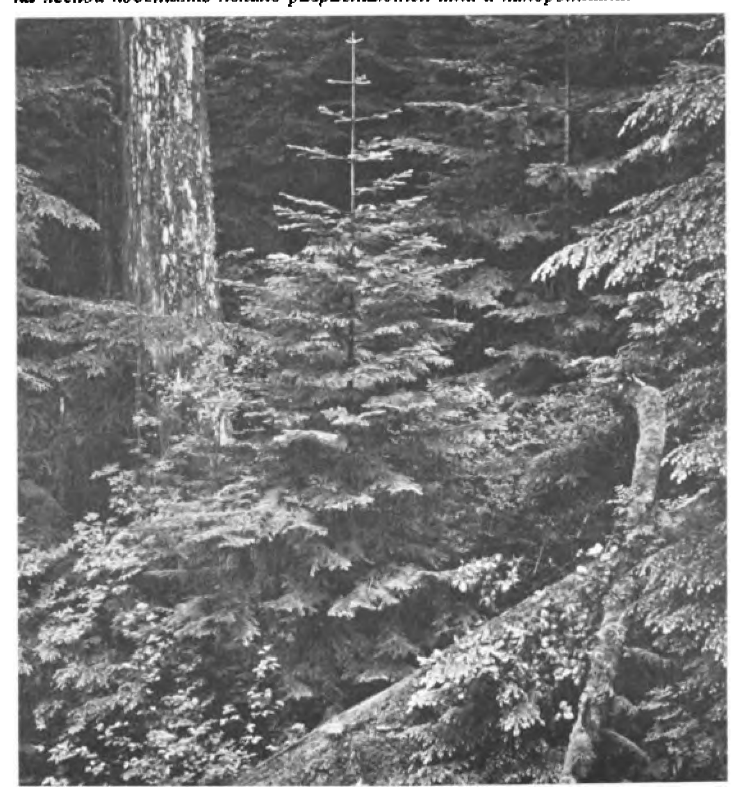


250 мм. *Холодная пустыня Большого бассейна в штатах Юта и Невада получает в год всего 250 миллиметров осадков. Из растений здесь преобладают довольно редко разбросанные кусты полыни. Эти выносливые растения имеют стержневые корни, глубоко уходящие в почву в поисках грунтовой воды, и обширную сеть поверхностных мелких корней для поглощения влаги случайных дождей.*

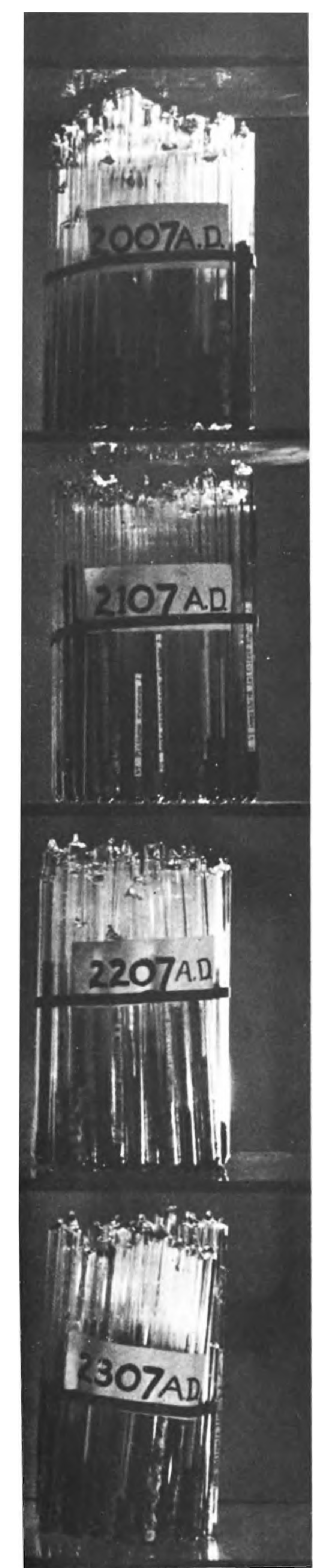


1125 мм. *Леса, покрывающие Аппалачские горы от штата Нью-Йорк до Вирджинии, получают 1125 миллиметров годовых осадков, причем на зимние снегопады приходится четверть этого количества. Из пород типичны береза, бук, ясень, клен, гикори и дуб с примесью хвойных пород на северо-востоке района.*

2500 мм. *Обильные осадки, характеризующие самую влажную зону США — Национальный парк Олимпик в штате Вашингтон, допускают развитие плотных древостоев хвойных пород. Деревья тсуги западной, можжевельника виргинского и пихты дугласовой достигают высоты 60 метров и больше, а в их тени на лесной подстилке пышно разрастаются мхи и папоротники.*



2147 A.D.
2167 A.D.
2267 A.D.
2287 A.D.



Вода из семян в этой пробирке была удалена путем химической сушки

Вызов будущему

Обычно семена сохраняют жизнеспособность в течение одного-двух лет, пока повышение влажности не заставит их растратить свой запас энергии и они не потеряют всхожесть. Лучше всего хранить семена в сухом месте с низкой температурой; при этом дольше сохраняют свою жизнеспособность семена с плотной, твердой оболочкой. В таких благоприятных условиях семена обычных полевых и овощных растений сохранялись до 25 лет. А может, в условиях абсолютной сухости они сохраняются дольше? В поисках ответа Ф. Вент, автор этой книги, в 1947 году начал опыт, который намечено продолжать более 300 лет. Семена 120 дикорастущих растений Калифорнии, химически обезвоженные в вакууме, поместили в запаянные под вакуумом пробирки (каждый вид в 20 пробирках) и, снабдив их этикеткой с датой, поставили на хранение. Со времени начала опыта уже проращивали семена четырех партий пробирок. В результате после 10 лет хранения испытываемые семена оказались в среднем такими же жизнеспособными, какими они были сразу после сушки.

Доктор Вент и его сын запаивают под вакуумом обезвоженные семена для их последующего испытания.

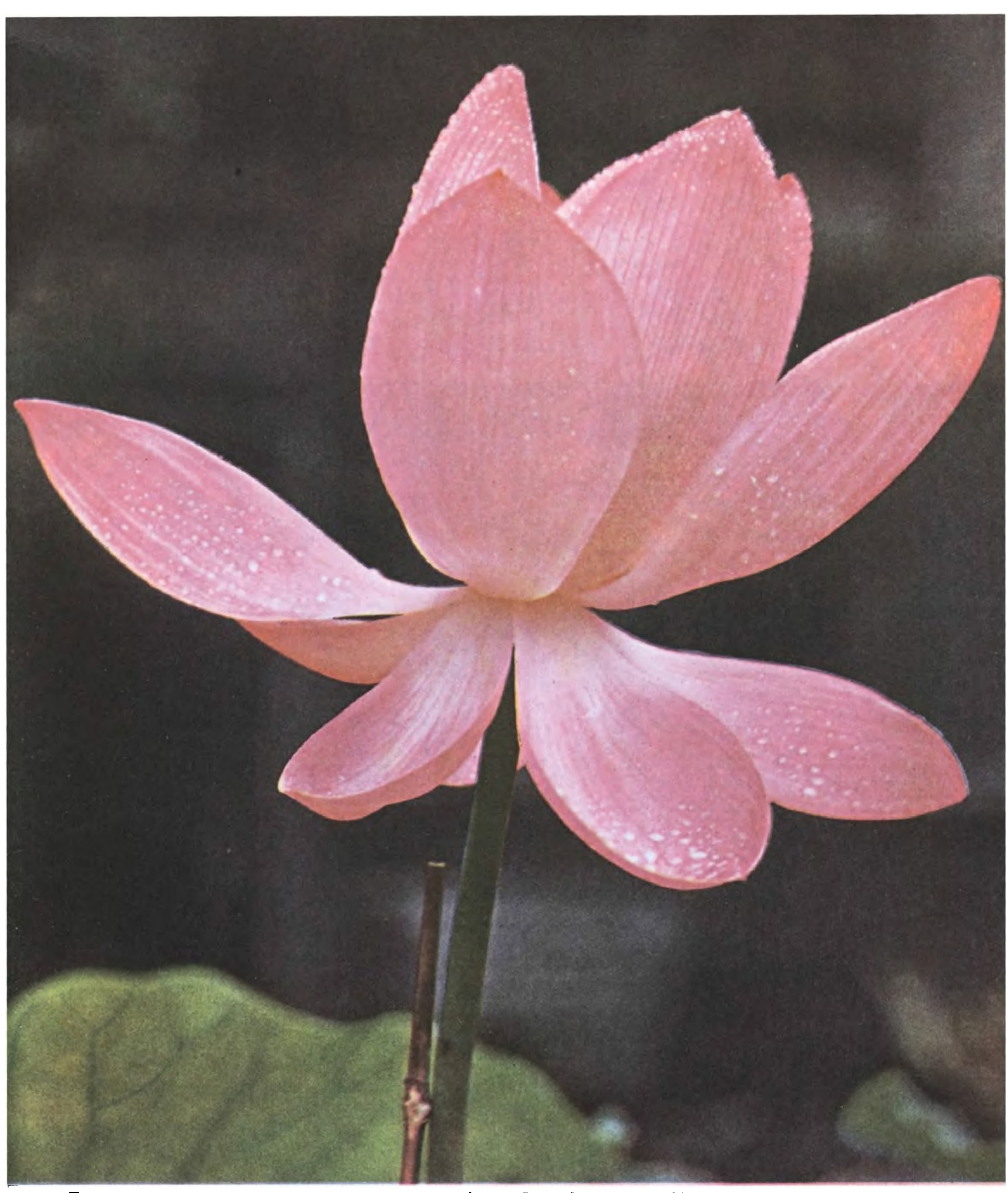
Размещая семена для опыта, доктор Вент устанавливает на полки 20 одинаковых наборов семян, на каждом из них указана дата их будущего использования. Чтобы вызвать прорастание, семена (по 60—100 штук из каждой пробирки) снова увлажняют при температуре 18° С.

Вечный цветок лотоса

В необычных условиях жизнеспособность семян некоторых растений может сохраниться неопределенно долгое время. Рекорд продолжительности жизни принадлежит восточному лотосу, семена которого, как было доказано с помощью изотопа углерода C^{14}, пролежали столетия. Самыми старыми считаются три семени лотоса, найденные в 1951 году в неолитическом каноэ на глубине пяти с половиной метров в торфяном болоте близ Токио. При заботливом уходе специалистов два из трех древних семян проросли и дали свои характерные цветки; многочисленные семена и черенки от этих растений были разосланы ботаническим учреждениям всего мира.

Специалист по лотосам доктор Итиро Ога надрезает твердые покровы 2000-летнего семени лотоса, открывая доступ к зародышу. Через четыре дня после того, как семя поместили в воду, оно проросло.

Доктор Ога показывает, как будет раскрываться цветок лотоса. В первый день он напоминает бутылочку для рисовой водки — сакэ, на второй — чашу для сакэ, на третий — суповую миску и на четвертый — соусницу.



Полностью раскрывшийся цветок лотоса, окраску которого доктор Ога предсказал еще за 14 месяцев, развивался точно так же, как и современные лотосы. Через четыре дня лепестки побурели и опали.

Укоренившийся в песке полностью облиственный проросток кокосовой пальмы до тех пор потребляет запас питательных веществ ореха, пока не исчерпает его до конца.

5

Решение загадок роста

Одно из основных проявлений жизни — способность к росту. Я не говорю о простом росте кристаллов, когда уже готовые молекулы, растворенные в окружающей жидкости, наращиваются подобно тому, как это происходит при кристаллизации сахара. Истинный рост, какой мы наблюдаем у растений и животных, — это совсем иной процесс, при котором образуются совершенно новые молекулы. Чтобы получился тот вид живого организма, который предопределен участвующими в этом процессе генами, нужно особое расположение молекул. При истинном росте модель не определяется структурой молекул; наоборот, одни и те же молекулы (например, молекулы целлюлозы), располагаясь самым различным образом, могут создать что угодно — от злака до клена серебристого.

Растения растут медленно, и случайному наблюдателю живое дерево или цветок могут показаться статичными, неизменяющимися. Но это только потому, что мы различаем лишь относительно быстрые движения; чтобы видеть, как двигаются растения, нужны специальные приспособления. Конечно, растения не могут перемещаться с места на место, поскольку, за исключением свободноплавающих водорослей, они, как правило, прикреплены корнями к определенному месту, но, несмотря на это, все же могут двигаться. Каждый, кому приходилось смотреть фильм, где замедленной съемкой снят растущий побег, вспомнит, как он непрерывно раскачивается из стороны в сторону. Даже более старые растения производят заметные суточные движения, расправляя свои листья горизонтально днем и складывая и опуская их вертикально ночью.

По мере роста растения не остается статичной и его форма. Растение изменяется не только от сезона к сезону, но и от семени или сеянца до плодоносящей особи, от формирования почки до цветения. Фактически растение имеет

четыре измерения; четвертое измерение — это время. Жизнь растения представляет собой проявление последовательных фаз роста. Желудь — в такой же степени дуб, как и величественный лесной гигант, а лишенное листьев зимнее дерево — в ботаническом понимании такое же дерево, как и полностью облиственное или стоящее в великолепном осеннем убранстве; все это лишь различные формы существования во времени одного и того же вида.

Но для растения время важно не только само по себе. Другой аспект проблемы заключается в *приуроченности* изменений организма к временным изменениям окружающей среды. Это прекрасно видно на примере японских вишен, высаженных в речной пойме в Вашингтоне: все они цветут одновременно. Точно так же все буки в городе раскрывают листья в один и тот же день. Мы так к этому привыкли, что редко задумываемся над этим; но, если задуматься, это покажется нам чудом. Совершенно очевидно, что деревья в одной части города не могут знать, что происходит с деревьями в другой его части. И живут они не в одинаковых условиях: одни из них могут быть защищены домами, другие — посажены вдоль озера в парке. И все они действуют совершенно синхронно, когда приходит время развернуть листья.

По-видимому, еще более замечательно то, что все листья на дереве развертываются в один и тот же день. Ведь нижние ветви находятся в совершенно иных условиях, чем расположенные выше, и кажется почти невероятным, чтобы ветви на северной и южной стороне или внутри и снаружи кроны находились в абсолютно одинаковых условиях. В иных случаях мы не обнаруживаем столь совершенной синхронности, которой, казалось бы, можно было ожидать; в высеянной партии не все семена прорастают одновременно, некоторые отстают на несколько дней и даже на неделю. Поэтому не была бы удивительной и разновременность в развертывании листьев.

Синхронное раскрытие почек на деревьях позволяет предполагать, что оно регулируется двумя механизмами. Поскольку все вишни в Вашингтоне расцветают в одно и то же время, вероятно, на них действует какой-то внешний раздражитель. Вместе с тем вишни зацветают за месяц до появления листьев бука, и у обоих видов в разные годы может запаздывать или, наоборот, ускоряться время раскрытия почек; значит, этот сигнал очень сложен и неодинаков для каждого вида деревьев. Мы знаем, что в одних случаях он связан с продолжительностью зимних холодов, в других — с весенними температурами.

Второй сигнал, который сообщает всем почкам на одном дереве, что́ им полагается делать и когда, должен быть внутренним. Этим сигналом достигается такая степень координации, которую можно сравнить с координацией движений органиста, использующего все пальцы рук и обе ноги, чтобы играть четырехголосную фугу Баха. У органиста эта координация осуществляется центральным нервным механизмом — мозгом. Но у растений нет нервов или каких-либо структур, по которым можно было бы посылать импульсы через весь организм к периферийным участкам; и это делает проблему одновременного раскрытия почек тем более интригующей.

Чтобы лучше понять механизм синхронизации, мы должны сначала разобраться, *как* растет растение. Мы уже знаем, что его рост начинается с последовательного деления оплодотворенной яйцеклетки, приводящего к образованию комочка недифференцированных клеток. Эти клетки затем дифференцируются на зародыш с крошечным кончиком стебля, или почечкой, одну или две семядоли и зачаток корня. В большинстве случаев сам зародыш очень мал, меньше миллиметра длиной. Основной объем многих семян занимают зародышевые листья, или семядоли, представляющие собой довольно вместительные органы хранения запасных питательных веществ. В орешке арахиса после удаления шелухи и наружной оболочки эта структура ясно различима. Две половинки ядра — это семядоли; они плотно прилегают друг к другу, подобно половинкам морской раковины, и скреплены у того конца, где соединяются с зародышем. Крошечное заостренное тело между ними — это и есть зародыш, прекрасно подготовленный к тому, чтобы, как только начнется прорастание, использовать пищу, накопленную в семядолях, и превратиться в целое растение арахиса.

Первым этапом прорастания является общее набухание — впитывание воды всем семенем, пока каждая клетка не насытится ею настолько, чтобы тронуться в рост. Только после этого зародыш получает возможность развиваться. Поглощение воды продолжается примерно в течение недели, но теперь это уже не простое набухание; теперь быстро удлиняются молодые стебли и корень, которые прокладывают себе дорогу вверх и вниз. На этом этапе роста клетки зародыша, очень мелкие при их образовании, вытягиваются в 10—100 раз. Это оказывается возможным благодаря обильному поступлению сахара к каждой клетке стебля и корня из запасов, накопленных в семядолях. Обогащенные таким образом клетки могут поглощать большие количества воды, которая повышает их тургор и буквально растягивает их настолько, что они уже не могут снова сократиться. Устройство стенок клетки таково, что они вытягиваются только в длину и растение растет не как ребенок, сразу во всех направлениях, а

лишь в одном, подобно паре подтяжек, которая тянется в длину, по сравнению с трехмерным растягиванием эластичных тренировочных брюк.

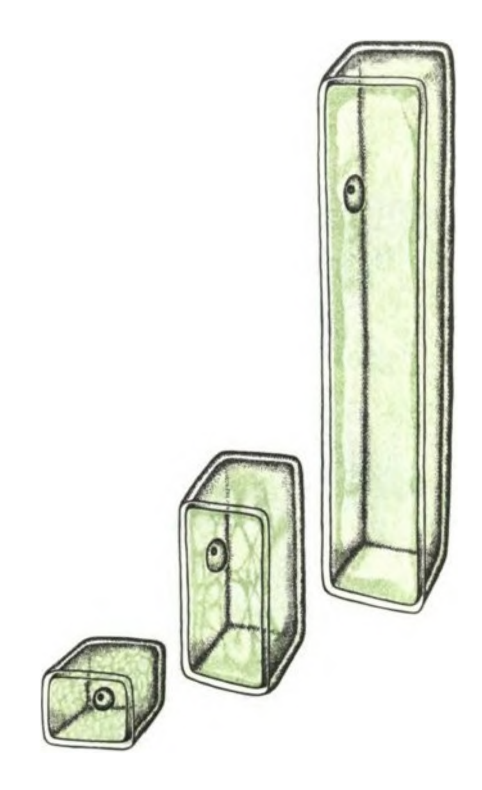
Однако клеточные оболочки семядолей построены иначе. Они настолько толсты, что не могут сильно вытягиваться; поэтому, несмотря на содержащийся в них сахар и высокое осмотическое давление, сами они больше не растут, их задача — обеспечить зародыш пищей. Так взаимодействие между клетками семядолей и зародыша и их различная способность к растягиванию являются причиной роста арахиса в определенном направлении и в строго определенное время.

Каким образом клетка растения приобретает способность растягиваться лишь в одном строго определенном направлении? Ответ на этот вопрос дает нам электронный микроскоп. Он позволяет увидеть, что один из главных компонентов клеточной оболочки — целлюлоза — представляет собой длинные цепи молекул, прочно скрепленные между собой практически без какого-либо промежутка. Молекулы целлюлозы собраны в оболочке клетки в маленькие пучки и выглядят под электронным микроскопом как тонкие нити. Они погружены в пластичный пектин, обладающий способностью растягиваться в любом направлении. Пучки же целлюлозы, или фибриллы, располагаются в стенке клетки поперек, подобно стальной спирали в шланге пылесоса. И подобно тому, как шланг можно вытянуть только в длину, но не по диаметру, фибриллы целлюлозы, позволяя оболочке клетки существенно удлиняться, предотвращают ее рост в ширину.

Проросток крошечного зародыша образуется главным образом за счет такого вытягивания. Но для дальнейшего роста нужны новые клетки, поэтому кроме вытягивания уже существующих клеток происходит также их интенсивное деление, в основном в верхушке стебля и в кончике корешка.

Наиболее нежная часть стебля — самый верхний его конец. Он состоит из мелких меристематических клеток, которые непрерывно делятся. Это деление обеспечивает рост прежде всего в одном направлении, но время от времени образуются ответвления и в других направлениях — так возникают зачатки листьев или цветков. Регулярность деления клеток в кончике стебля поразительна — листья появляются через совершенно одинаковые интервалы и располагаются на полностью развитой ветви в строго определенном порядке. Аналогичное постоянство наблюдается и при образовании частей цветка.

Только после того, как в точке роста на кончике стебля сформируется достаточное количество клеток, начинается их удлинение, сначала медленное, затем более быстрое; через несколько дней оно



УВЕЛИЧЕНИЕ КЛЕТКИ

Любое растение, кроме низших, — это организованное скопление клеток. Независимо от того, какую специальную задачу будет в конечном итоге выполнять каждая клетка, все они растут одинаково. Начав с небольшого количества протоплазмы внутри оболочки (слева), клетка постепенно увеличивает свои размеры. Вакуоли в протоплазме, поглощая воду, набухают и растягивают оболочку клетки (середина). По мере растяжения оболочки растягивается и протоплазма. В результате многочисленные наполненные водой вакуоли сливаются и образуется одна крупная вакуоль, занимающая бóльшую часть внутреннего обьема клетки (справа).

достигает максимальной скорости, а потом постепенно замедляется и, наконец, рост полностью прекращается. У разных растений скорость роста стебля весьма неодинакова. Это обусловлено не скоростью роста отдельных клеток, большинство которых в течение суток, как правило, удваивают свои размеры, а длиной той верхушечной зоны стебля, которая участвует в процессе роста. У медленно растущих растений в росте участвует лишь около 0,6 сантиметра кончика стебля; у наиболее быстро растущих стеблей, таких, как побеги бамбука, в процессе роста может участвовать до 60 сантиметров длины стебля. Сочетание интенсивного деления клеток и их вытягивания по всей этой 60-сантиметровой зоне роста обеспечивает почти 30-сантиметровый прирост побегов в сутки. Своей окончательной высоты в 30 метров бамбук достигает всего за несколько месяцев, тогда как другому дереву для этого требуется несколько десятков лет*. Разница, таким образом, обусловлена не большей скоростью роста отдельных клеток у бамбука, а бóльшим числом клеток, вытягивающихся одновременно. Кроме того, у большинства деревьев побеги растут примерно один месяц в году, у бамбука они растут непрерывно — удивительное достижение, требующее огромных количеств энергии и питательных веществ, которые хранятся у бамбука в массивном корневище и пополняются сахарами, образующимися при фотосинтезе во всех облиственных побегах.

СРЕДОТОЧИЕ РОСТА

Некоторые клетки способны делиться в течение всей жизни растения. Эти клетки, расположенные в таких ключевых участках, как, например, верхушка стебля, являются центрами роста растения. Здесь на увеличенном разрезе (нижний рисунок) показана растущая верхушка колеуса. Делящиеся клетки находятся в центральной меристематической зоне. По мере деления они оставляют позади себя зону растяжения, где благодаря поглощению воды происходит увеличение клеток — они становятся в 10—20 раз длиннее. Из этих увеличившихся клеток и образуются впоследствии различные ткани.

Каждые 33 или 66 лет, на протяжении жизни одного или двух поколений людей, бамбук совершает самоубийство. По причинам, которые нам пока еще не совсем понятны (некоторые объясняют это влиянием пятен на Солнце, но это не больше, чем догадка), гигантские бамбуки зацветают, посылая вверх огромные цветоносные побеги вместо обычных облиственных. Цветки используют все запасы питательных веществ, никак не пополняя их, и неизбежным результатом этого расточительного цветения является гибель растения. В тропических областях, где бамбук является основным строительным материалом для местного населения, это настоящее бедствие. Но самое удивительное еще и в том, что все бамбуки одного вида цветут в один и тот же год независимо от местонахождения. Яванский бамбук может быть перенесен на Ямайку, но он будет цвести в то же время, что и его братья на родине.

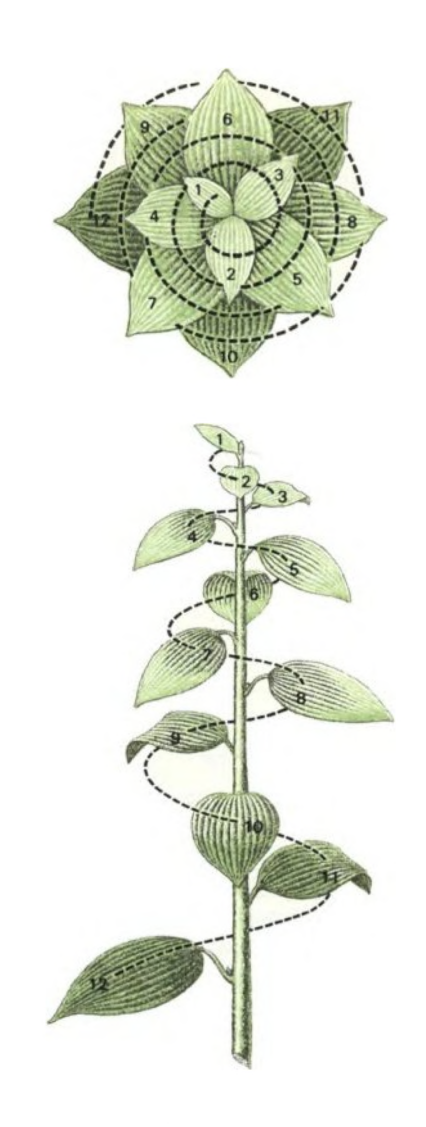
Замечательный пример быстрого развития наблюдается у гриба-диктиофоры *(Dictyophora phal-*

* При сравнении темпов роста надо иметь в виду, что строение бамбука и дерева существенно различается. Активно делящаяся, меристематическая ткань находится у бамбука в каждом междоузлии. Рост же дерева в высоту осуществляется только за счет деления меристематической ткани верхушки побега.

loidea), тропического зловонного рожка. В гумусном слое тропических лесов гриб образует яйцевидные плодовые тела. Внутри каждого «яйца» находится полностью сформированный гриб. Развитие начинается утром, обычно около 7 часов, с разрыва внешней оболочки яйца. Затем появляется тупая головка гриба, покрытая разжижающейся массой черных вонючих спор. В течение следующего часа показывается стебель, приподнимая шляпку гриба на 10—12 сантиметров над его телом. Наконец, из-под спороносной шляпки развертывается и спускается вниз красивая кружевная белая юбочка. Это развертывание происходит всего за несколько минут, причем так стремительно, что фотографии, снятые в это время, получаются, как правило, нечеткими из-за непрерывного движения юбочки.

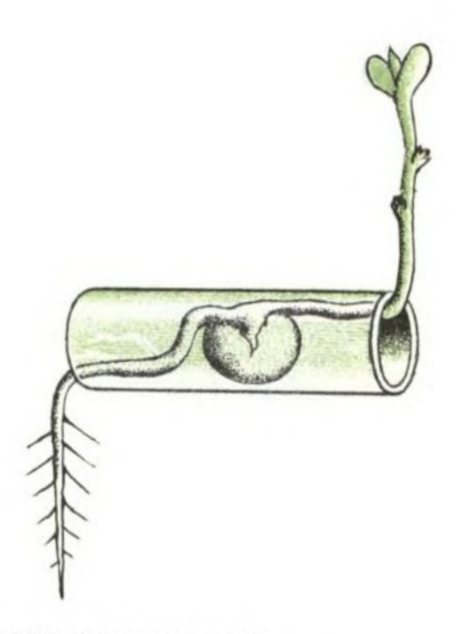
Наблюдая за растущим растением, скоро начинаешь замечать, что его рост строго регулируется независимо от того, большое это растение или маленькое, быстро или медленно растущее. Короче говоря, большие деревья становятся большими не случайно. Это лишь внешнее и видимое проявление какого-то механизма регулирования роста, заставляющего все клетки стебля расти с одинаковой скоростью, иначе стебель не был бы прямым. Если клетки на одной стороне будут расти быстрее клеток на другой, стебель получится искривленным. Следовательно, в каждом растении необходима высокая степень координации ростовых процессов в разных его частях. Первым, кто осознал значение такой координации, был Чарлз Дарвин. Своими опытами он убедительно доказал, что рост стебля молодого растения регулирует его верхушка. Дарвин показал также, что реакциями молодых корней управляет кончик корня. Таким образом, были выявлены два регулирующих центра, каждый из которых управляет поведением частей, находящихся, так сказать, в его «юрисдикции». Дарвин пришел к выводу, что это регулирование, хотя и не в полной мере, сравнимо с регулированием, производимым мозгом простейших животных.

Механизм внутреннего регулирования роста стебля был обнаружен приблизительно 35 лет назад. Сначала он был открыт у проростков злаков, но позднее оказалось, что он действует и в стеблях большинства других растений. Проросток злака представляет собой сравнительно простое структурное образование. Прочный полый цилиндр, или колеоптиль, заключающий в себе нежные молодые листья проростка, пробивается сквозь почву вверх. Когда цилиндр достигает поверхности почвы, он перестает расти и с этого времени действует как трубка, которая защищает от грубых частиц почвы проталкивающиеся сквозь нее вверх молодые листья злака.



РАВНОПРАВНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОЛНЕЧНОГО СВЕТА

В тенистых местах листья редко мешают друг другу — они чуть ли не с математической точностью размещены так, чтобы каждый из них имел доступ к солнечным лучам. Располагаются они на стебле по спирали, и если сосчитать число витков от верхнего листа до следующего, занимающего то же положение по вертикали, то получим три витка. Затем сосчитаем число листьев на этих трех витках, исключив один из двух, находящихся на одной вертикальной оси; сумма будет равна восьми. Эти цифры, выражаемые дробью, в нашем примере $^3/_8$*, показывают долю окружности стебля между двумя следующими друг за другом листьями.*



РЕАКЦИЯ НА СИЛУ ТЯЖЕСТИ

Если проросток выращивается в трубке (вверху), его стебель изгибается кверху, а корень — вниз, как только они выйдут за ограничивающие их рост концы трубки. Эта реакция, положительная у корней и отрицательная у стебля, известна под названием «геотропизм» — реакция на земное притяжение. Английский экспериментатор Томас Найт доказал это более 150 лет назад. Он укреплял растения на вращающемся колесе (внизу) так, что силе тяжести противодействовала центробежная сила. Тогда корни росли наружу, а стебли внутрь — точно так, как если бы сила тяжести действовала в горизонтальном направлении. Как теперь стало известно, реакция на силу тяжести вызывается действием особых гормонов — ростовых веществ.

Если верхушку колеоптиля срезать, рост замедлится и через несколько часов полностью прекратится. Происходит это не потому, что стеблю нанесено какое-то необратимое повреждение, а просто из-за отсутствия верхушки. Если ее приставить к обезглавленной части, рост возобновится. Стебель будет расти, даже если между ним и верхушкой будет нанесен тонкий слой (блок) желатина или агара. Однако, если верхушку отделить от стебля каким-нибудь непроницаемым материалом, вроде кусочка оловянной фольги, стебель расти не будет. Значит, рост управляется чем-то, что диффундирует из верхушки в сам стебель. Это убедительно доказывается при помощи следующего опыта: срезают верхушку стебля, помещают ее на желатиновый или агаровый блок не менее чем на час и затем приставляют этот блок к обезглавленному (декапитированному) колеоптилю. Рост возобновляется, как если бы верхушка вообще не была удалена, — значит, вещество, которое верхушка передает остальному растению, заставляя его расти, перешло в агар.

Определение этого ростового вещества оказалось длительной и утомительной задачей. Сначала пытались приготовить экстракт из самих верхушек колеоптиля, но, когда стало ясно, что для получения 1 грамма этого вещества 10 лаборантов должны работать по 70 часов в неделю в течение 70 лет, от этого пришлось отказаться. Тогда пошли другим путем — по пути очистки и кристаллизации ростового вещества из животных и растительных организмов. Выделенное ростовое вещество назвали ауксином; оно оказалось тождественным с индолилуксусной кислотой. Ауксин и некоторые другие близкородственные ему соединения оказались феноменальными стимуляторами роста растения. Одна крупинка индолилуксусной кислоты, растворенная в миллионы раз большем количестве воды, вызывает вполне измеримый прирост колеоптиля. Удалось вычислить весь прирост, который обеспечивает одна унция ауксина, — сложенные один к другому побеги могли бы опоясать Землю. Для сравнения укажем, что одна унция сахара способна обеспечить суммарный прирост, равный 0,32 километра, или только 0,00001 того, что обеспечивает ауксин. Отсюда ясно, что ауксин в отличие от сахара не служит строительным материалом, а является гормоном — веществом, образующимся в очень малых количествах в одной части организма (верхушка колеоптиля) и переносимым в другие (растущие части стебля), где оно продолжает оказывать стимулирующее влияние.

Выделение индолсодержащих ауксинов позволило выяснить и механизм действия ауксина. Образуясь в самой верхушке стебля, он затем перемещается вниз по клеткам стебля, стимулируя их рост. Но по мере удлинения стебля верхушка,

вырабатывающая ауксин, будет все больше отдаляться и количество ауксина, достигающего нижних клеток, будет становиться все меньше. Со временем точка роста будет настолько удалена от находящихся внизу клеток, что их рост совершенно прекратится.

Совсем недавно большой интерес вызвал новый тип стимуляторов роста растений, объединяемых под названием гиббереллинов. Эта группа химически близких веществ, подобно ауксинам, стимулирует рост стебля, но в отличие от них может вызывать чрезмерное удлинение побегов некоторых растений. С другой стороны, отсутствие гиббереллинов приводит к появлению карликовых форм растений, например карликовых сортов гороха, кукурузы, фасоли и других овощных культур. Так, карликовая кукуруза, обычно достигающая высоты 1,2 метра, может дотянуться до высоты нормальной кукурузы, если ей время от времени давать гиббереллин. Удивительно, что гиббереллин не усиливает роста нормальных растений кукурузы, а искусственно вводимый ауксин не усиливает роста карликовых сортов.

Итак, мы видели, какая чудесная система взаимосвязанных факторов кроется за таким внешне простым явлением, как рост растений. Теперь давайте немного поразмыслим над другим явлением, которое поначалу представляется столь же обманчиво простым: почему растения растут вертикально вниз и вверх — неизменно посылая корни вниз, в почву, а стебли — вверх, к необходимым им свету и воздуху?

Первой реакцией, вероятно, будет недоумение: а как же иначе? Разве они могут расти в сторону? На что ботаник вполне обоснованно ответит: а почему бы и нет? В конце концов семя попадает в почву в самых различных положениях, — казалось бы, у него нет никакой возможности установить, как оно лежит. Каким же образом оно может определить, куда посылать свой первый корешок и свою крошечную почечку?

Для зародыша растения это жизненно важный вопрос. Он должен протянуть свои корни в почву за водой и пищей и послать молодой побег вверх из почвы к свету и воздуху. Это ему удается благодаря силе земного притяжения.

Нет сомнения, что корни и побеги растения очень чувствительны к земному притяжению. Как бы мы ни сажали и пересаживали растущий корень или побег, все равно через несколько часов корень будет направлен вниз, а побег — вверх. Эта ростовая реакция на действие силы тяжести названа геотропизмом (что буквально означает «тяга к земле») и может быть продемонстрирована в ряде опытов.

Прежде всего высаживаем семя и даем ему прорасти в полной темноте: осмотрев молодое растение, выросшее из этого семени, мы устанавливаем, что его корни растут вниз, в почву, а побег вверх. Пересаживаем его в перевернутом виде и через очень короткое время обнаруживаем, что оно вновь ориентировано побегом вверх, а корнями вниз. Поскольку это происходит в полной темноте, значит, влияние света исключено и все дело лишь в силе тяжести.

Если мы теперь прикрепим растение к кругу, который медленно вращается на горизонтальной оси, подобно диску поставленного на ребро проигрывателя, картина будет иной. Здесь растение не подвергается одностороннему влиянию силы тяжести. Напротив, то, что сейчас наверху, через полминуты будет внизу, так что растение не получает непрерывного стимула к росту в каком-нибудь одном направлении. На таком вращающемся круге растение не сможет сориентироваться и будет продолжать расти в том направлении, в каком оно было высажено.

Ускорим вращение нашего круга — растение теперь будет подвергаться действию силы, стремящейся прочь от центра круга. В результате, отзываясь на эту центробежную силу, оно направит корни наружу, к периферии круга, а побег — внутрь, к его центру.

После того как побег растения уже показался из почвы, для его дальнейшего развития чрезвычайно важен свет. Большинство стеблей тянутся к свету, и можно заставить стебель изогнуться в сторону источника света, поместив растение в темное помещение с единственным небольшим окном. Эта ростовая реакция на свет называется фототропизмом (иными словами, «тягой к свету»). У разных растений и у их отдельных частей можно наблюдать самые разные реакции.

Корни некоторых растений, например, реагируют на свет таким образом, что растут в сторону, противоположную световым лучам, хотя свет, как правило, на корни не действует. Есть растения, листья которых реагируют на свет весьма определенным образом — они располагаются возможно более перпендикулярно к источнику света, с тем чтобы быть максимально освещенными. Так, комнатные растения на окне стремятся повернуть свои листья под прямым углом к уличному свету. У некоторых растений цветки растут так, чтобы быть полностью освещенными солнцем, и поворачиваются вместе с ним по мере его движения по небосводу. Так себя ведут, например, листья обычного сорного растения просвирняка. Если ствол дерева или какой-либо другой объект загородят их от солнца, они сразу прекращают движение, но как только солнечный свет снова попадает на них, они спешат повернуться к нему. Самая поразительная реакция наблюдается после захода солнца: стоит ему скрыться за горизонтом, как все листья просвирняка поворачиваются к

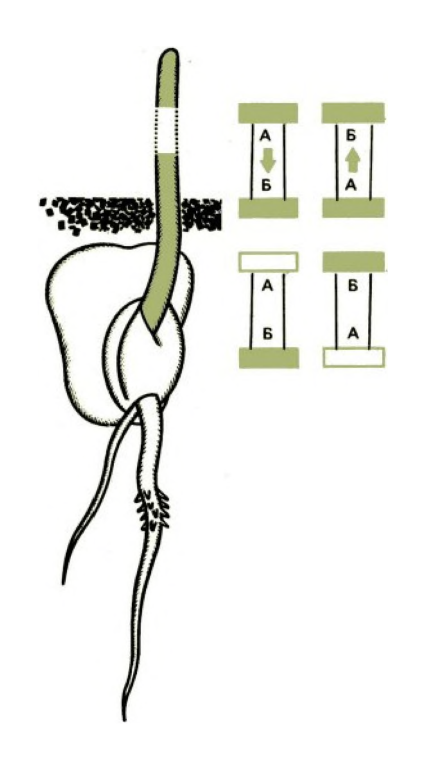
востоку в ожидании восхода, до которого еще много часов. Это выглядит так, как если бы они обладали интеллектом, подсказывающим им, в каком месте снова появится солнце; но интеллекта у них нет, скорее всего это еще одно проявление суточного ритма, так характерного для растений.

В дополнение к геотропизму и фототропизму на росте различных частей растения, особенно корней, как мы уже видели, сказывается присутствие воды и питательных веществ. Корни растений лучше распространяются и растут в слоях, особенно богатых водой и минеральными веществами.

Как поворачиваются растения, реагируя на свет или силу тяжести? В большинстве случаев при этом стебель растет неравномерно — клетки одной стороны растут быстрее клеток другой, отчего стебель изгибается. Поскольку на рост влияет прежде всего ауксин, логично предположить, что сила тяжести и свет оказывают свое действие именно на него. В действительности же на ауксин как на вещество они не действуют, но явно влияют на его перемещение от верхушки стебля или кончика корня, где он образуется. Например, у растения, которое растет не абсолютно прямо вверх, под действием силы тяжести большая часть ауксина перемещается в нижнюю сторону стебля, скапливается там и стимулирует рост этой стороны. Таким образом стебель снова выпрямляется. Свет, видимо, также вызывает отток ауксина из освещенных тканей. Стебель, от которого заслонили источник света, подобно комнатному растению, по недосмотру поставленному «другой стороной», или лесное растение, загороженное упавшим деревом, получает больше ауксина с менее освещенной стороны. На этой стороне стимулируется рост клеток, и в результате стебель снова начинает расти по направлению к свету.

Итак, фототропическую реакцию растения мы можем объяснить воздействием ауксина, но почему свет вызывает отток ауксина, ученые все еще не смогли объяснить. Вот почему исследования так увлекают: каждый раз, когда происходит какое-нибудь открытие, приближающее ученого к конечному результату, возникает новая проблема, которая требует своего решения.

До сих пор мы говорили главным образом о росте стебля в длину. После того как клетка в первые недели или месяцы своего развития достигла предельной длины, она больше не удлиняется и ее оболочка становится необратимо жесткой. За исключением очень небольшого верхнего участка, дальнейшего роста в высоту у стебля не происходит. Этим опровергается еще бытующее среди любителей «резьбы по дереву» мнение, что инициалы, вырезанные на стволе, со временем



МИГРАЦИЯ АУКСИНА

Одним из пока не разгаданных свойств ростового вещества ауксина является его перемещение только в одном направлении — от верхушки растения, где он вырабатывается, вниз по стеблю. Отрезок, вырезанный из проростка кукурузы, помещен между двумя агаровыми блоками: содержащим ауксин (А) *и без ауксина* (Б). *Ауксин диффундирует через ткани от верхушки растения к его основанию (вверху слева). Даже если мы перевернем проросток с блоками, ауксин будет продолжать одностороннее перемещение, несмотря на действие силы тяжести (вверху справа). Если же агаровый блок с ауксином поместить у основания отрезанного проростка (внизу слева и справа), диффузии ауксина не происходит ни в нормальном, ни в перевернутом положении проростка.*

исчезнут в расположенных выше ветвях. На самом же деле гвоздь, вбитый в ствол однолетнего дерева, всегда будет оставаться на той же высоте, и молодое дерево можно использовать в качестве столба в изгороди без опасения, что позднее изгородь приподнимется. Ствол дерева растет только в ширину. Тщательно замеряя окружность ствола здорового дерева, можно обнаружить, что в определенное время, где-то в апреле или мае, она начинает увеличиваться, правда, в основном в ночное время; к концу лета этот прирост прекращается, и так до следующей весны.

Установлено, что рост дерева в толщину происходит только у периферии ствола; центр, состоящий из твердой древесины, конечно, не может расширяться. Очевидно и то, что этот рост не происходит непосредственно на поверхности: молодые растущие клетки с их нежными тонкими оболочками нуждаются в защите коры. Таким образом, делящиеся клетки ствола и ветвей дерева должны быть и действительно расположены в тонком слое между древесиной и корой; этот слой называется камбием.

Хотя камбиальный слой клеток обеспечивает весь рост ствола в толщину, он невероятно тонок — это по существу один слой клеток. Расположенный между древесиной и корой, камбий образует и ту и другую, причем клетки древесины он откладывает внутрь, а клетки коры наружу. Из-за постоянного образования клеток древесины ствол дерева становится все толще и толще, а камбиальный слой и кора оттесняются все дальше и дальше от сердцевины ствола. Новообразованные живые клетки коры, делясь, приспосабливаются к этому расширению, но мертвые клетки наружных слоев коры — пробки — не могут этого сделать. Вот почему кора многих деревьев, таких, как сосна и дуб, покрыта длинными щелями и гребнями, а у таких, как береза и платан, отслаивается полосками или рваными кусками.

Клетки, образованные камбием, неодинаковы не только по числу, но и по характеру. Весной молодая древесина относительно мягка и пронизана многими сосудами, летом же образуется более твердая древесина с большим числом волокон и сверхтолстыми клеточными оболочками. Это создает неоднородность древесины, и на поперечном распиле ствола видна серия концентрических колец. В направлении от центра к периферии ствола кольцо мягкой светлоокрашенной древесины постепенно становится более темным и твердым, а затем резко сменяется кольцом светлого цвета. Каждое такое двойное кольцо — светлой и темной окраски — соответствует древесине, образованной камбием за один вегетационный период. Это так называемые годичные кольца дерева, которые могут подробно рассказать нам о климатических условиях тех лет, когда дерево росло. В засушливые годы образуются узкие кольца, в годы, обильные дождями, — широкие; рисунок следования широких и узких колец столь характерен, что эксперт может точно назвать год, в который они образовались. Установленная таким путем хронология годичных колец позволила заглянуть в далекое прошлое. Мы узнали, например, что после 1290 года на юго-западе североамериканского континента была исключительно сильная засуха, которая, по-видимому, вынудила древних обитателей Меса-Верде (штат Колорадо) покинуть свои пещерные города. Этот факт удалось установить после того, как обследовали стволы деревьев, которыми были перекрыты крыши жилищ индейцев (пуэбло). Рисунок колец у всех сохранившихся стволов показывает, что они были срублены до 1290 года; следовательно, индейцы бросили поселение примерно в это время.

Нет более замечательного примера роста растений, чем развитие пыльцевой трубки, которая необходима высшим растениям для оплодотворения женской половой клетки. Мужские половые клетки растений образуются в пыльцевых зернах. Они переносятся с мужских органов цветка на женские ветром, насекомыми или птицами в зависимости от вида растения. После того как пыльцевое зерно попадет на клейкое уплощенное рыльце столбика, оно начинает образовывать нитевидную трубку, которая прорастает вниз по центру столбика в направлении к яйцеклетке, лежащей на дне завязи. По этой пыльцевой трубке и спускается мужское ядро, чтобы оплодотворить яйцеклетку. Если учитывать малые размеры пыльцевого зерна, длина образуемой им трубки кажется почти невероятной. У кукурузы, например, пыльцевая трубка должна прорасти сквозь столбик и весь початок, прежде чем она доберется до яйцеклетки, то есть пройти расстояние, достигающее иногда 30 сантиметров. А пыльцевое зерно, при прорастании которого образуется эта трубка, имеет диаметр, равный всего одной четырехсотой доле сантиметра.

Мы уже немало узнали о росте растений, наблюдая быстрорастущие растения и изучая роль гормонов, воды и питательных веществ. Теперь посмотрим, нельзя ли пополнить эти знания наблюдением над некоторыми медленно растущими растениями. Мы знаем, что чем меньше света, воды и питательных веществ получает растение, тем хуже оно растет. Это сильнее всего проявляется у некоторых растений песчаных дюн. Именно здесь, как правило, растениям недостает и воды и питательных веществ, и в результате рост растений подавлен.

Что же можно сказать о растениях, которых умышленно лишают того, в чем они нужда-

ются? Это секрет бонсай — японского искусства выращивания карликовых деревьев. Используются все известные способы подавления роста деревьев — вишен, кедров, кленов. В естественных условиях они вытянулись бы на много метров, но их старательно лишают питательных веществ, помещают в маленькие горшки, обрезают корни, удаляют наиболее быстро растущие побеги и почки, и в итоге они превращаются в миниатюрные подобия самих себя с крошечными листьями и искривленными маленькими стволами — их рост почти, хотя и не совсем, прекращен. Чем они меньше, тем сильнее скрючены их стволы и более извилисты их ветви, тем более удивительным кажется их возраст и тем выше они ценятся. Возраст некоторых из этих деревьев бонсай превышает сто лет. Жизнь в них фактически едва теплится.

Продолжительность жизни растений иногда составляет всего несколько недель (как у однолетников пустыни), но обычно они живут значительно дольше: большинство однолетников — примерно полгода, двухлетники, такие, как морковь, свекла и наперстянка, — два года, многолетники, например ирисы и пионы, а также кусты и деревья, — неопределенное число лет. А в некоторых случаях, как у лишайников, медленно растущих на скалистых полярных побережьях, или у сосны остистой в калифорнийских горах, жизнь исчисляется тысячами лет.

В отличие от многолетних растений однолетник к концу года отмирает; при этом он исчезает целиком и окончательно. Он проделал свою работу — образовал и рассеял семена, а о продолжении существования вида теперь будут заботиться новые растения, которые вырастут из семян в других местах. Сморщенный стебель старого растения, ни для чего уже более не пригодный, высыхает и разрушается. Многолетники, напротив, используют старую древесину. Бо́льшая часть ее (пробка и сердцевина ствола и ветвей) уже мертва, но тем не менее она продолжает служить определенной цели. Ежегодный прирост увеличивает прочность и толщину ствола и отодвигает его ветви немного дальше и немного выше. Однако этот рост осуществляется лишь ничтожной частью дерева — его точками роста и камбиальным слоем. Непрерывно делящаяся меристема остается живой и ежегодно растет, образуя каждую весну новые побеги, листья и цветки и увеличивая толщину ствола и коры. Таким образом, будь то хрупкая фиалка, существующая лишь несколько месяцев, или калифорнийские мамонтовы деревья с продолжительностью жизни в тысячи лет, растение должно продолжать рост. Как только оно перестает расти, можно считать, что дни его сочтены.

В этом и заключается одно из основных различий между растениями и животными. Когда животное достигает зрелости, его рост прекращается. Клетки костей и нервов перестают расти и делиться, другие клетки организма всего лишь замещают друг друга, не увеличивая размеров особи. В таком виде животное может существовать в течение длительного времени по той причине, что некоторые из его клеток — клетки костной и нервной тканей — незаменимы, они долговечны, и животный организм может обходиться одними и теми же клетками многие годы. Однако со временем они износятся и животное умрет. Клетки растений, напротив, живут мало и должны постоянно заменяться. Листья клена или платана, образовавшиеся в апреле, опадают и отмирают в октябре. У дуба виргинского листья, появившиеся весной, опадают только следующей весной, а на их месте образуются новые листья. Опадение листьев обусловлено не температурой, а продолжительностью жизни самих клеток листьев и ритмом замещения их у дерева.

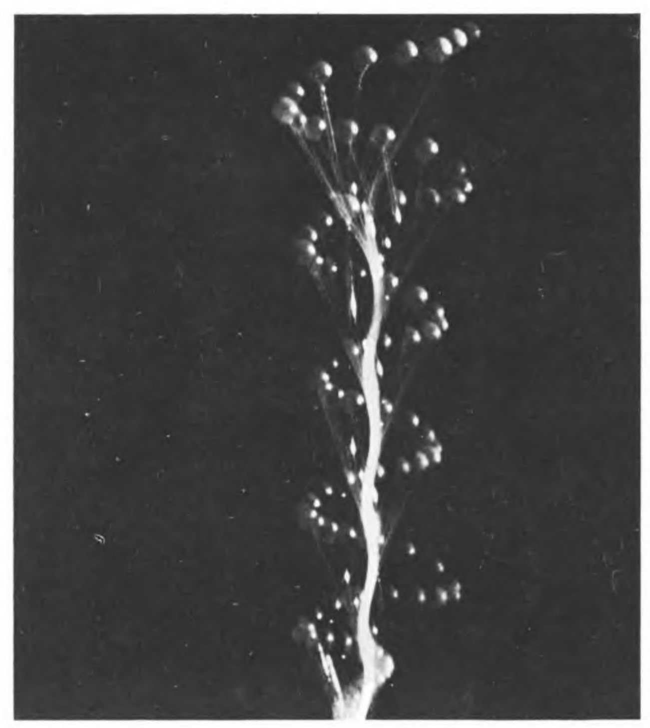
Листья хвойных пород более долговечны. У многих видов они держатся два года и больше, а у медленно растущих и почти вечных остистых сосен в горах запада США иглы живут до 20 лет. Теоретически деревья действительно должны быть бессмертными; насколько известно, не существует причины, по которой нельзя вечно поддерживать жизнь тополя пирамидального черенками: из последних непрерывно образуются новые деревья. Тем не менее у отдельного растения есть определенный возрастной предел, хотя, как показывают последние научные данные, у остистой сосны, например, он равен самое меньшее 4600 годам. Ну что ж, если это так, деревья ближе к бессмертию, чем человек. Но истинное бессмертие возможно только для недифференцированных клеток одноклеточных организмов, которые могут делиться до бесконечности. Так, о бактерии можно сказать, что ее возраст 500 миллионов лет. Но человек и растение шли по пути дифференциации, и за свое совершенство оба должны в конечном итоге расплачиваться отказом от бессмертия.

Три жизнеспособных желудя прорастают, выпуская первичные корни, а четвертый, пробуравленный, остается безжизненным, потому что его содержимое съедено каким-то насекомым.

СИЛЫ, ДВИЖУЩИЕ РАСТЕНИЯ

Хотя большинство растений не перемещаются с места на место, ни одно из них не остается в покое, так как рост — это движение. Поднимаясь ли спиралью вверх, склоняясь ли к свету или отзываясь на силу земного притяжения, они постоянно находятся под контролем гормона, называемого ауксином, который наряду с другими гормонами воздействует и на многие другие процессы в растении. А когда растения входят в пору плодоношения, они подчас сами разбрасывают свои споры и семена.

У готовящихся к плодоношению слизевиков (миксомицетов) наблюдаются спонтанные движения, свойственные простейшим организмам. При этом слившиеся вместе недифференцированные клетки образуют выпуклость с одной стороны, которая, посте-

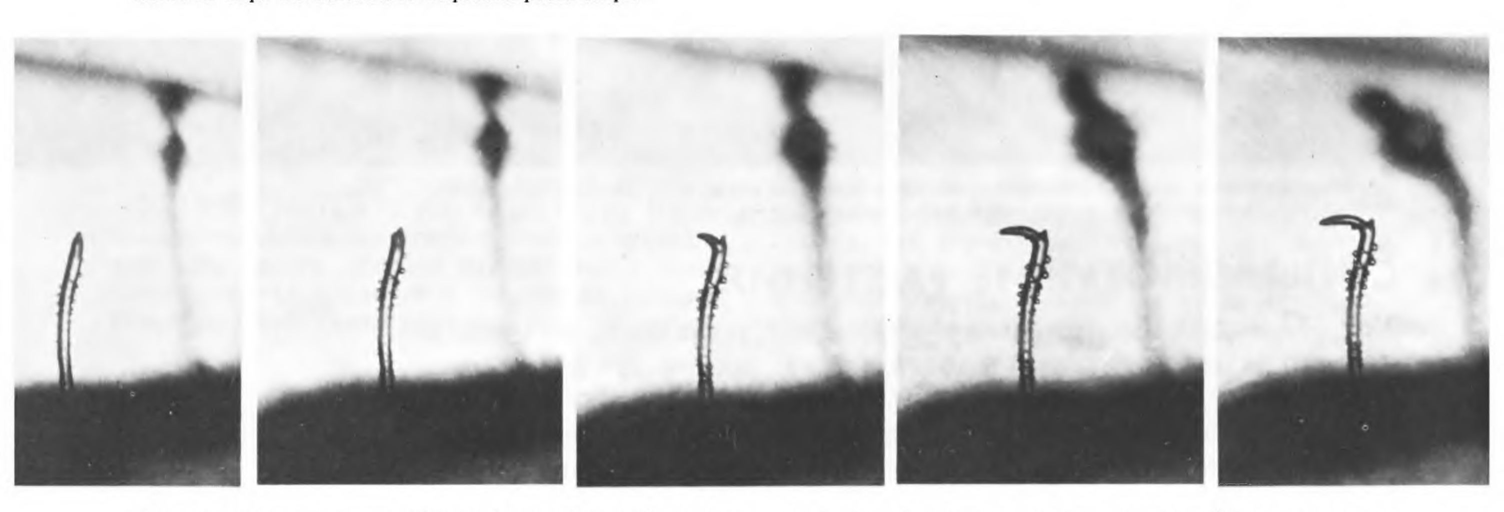


Проявление реакции растений на свет — фототропизма (фотографии быстрорастущего гриба делались замедленной съемкой). Заметны колебания растения между двумя источниками света по мере того, как оно спирально росло вверх.

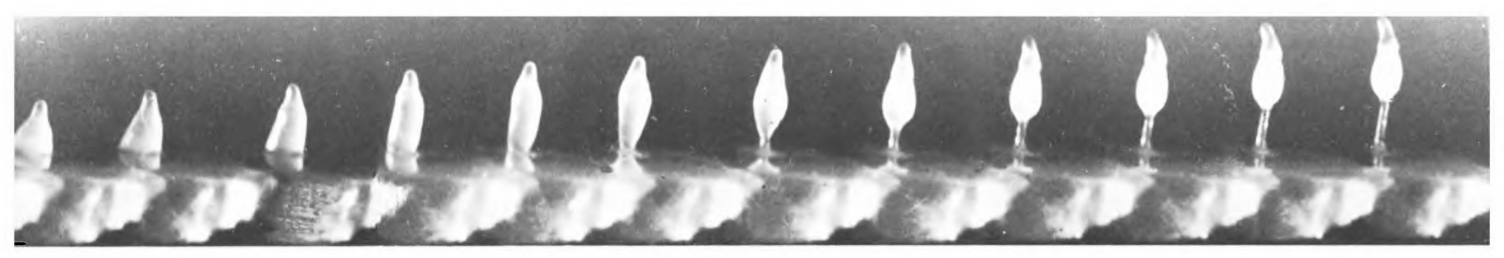
Растения в движении

Какими бы недвижимыми растения ни казались, в действительности они находятся в непрерывном движении. Большинство этих движений — результат роста, и первым, кто в XIX веке открыл, что растущие части растений, включая и корни, вытягиваясь, описывают спираль, был Чарлз Дарвин. Скорость этого движения по спирали существенно различается у разных частей растения — возле усиков она велика, а у корня намного меньше.

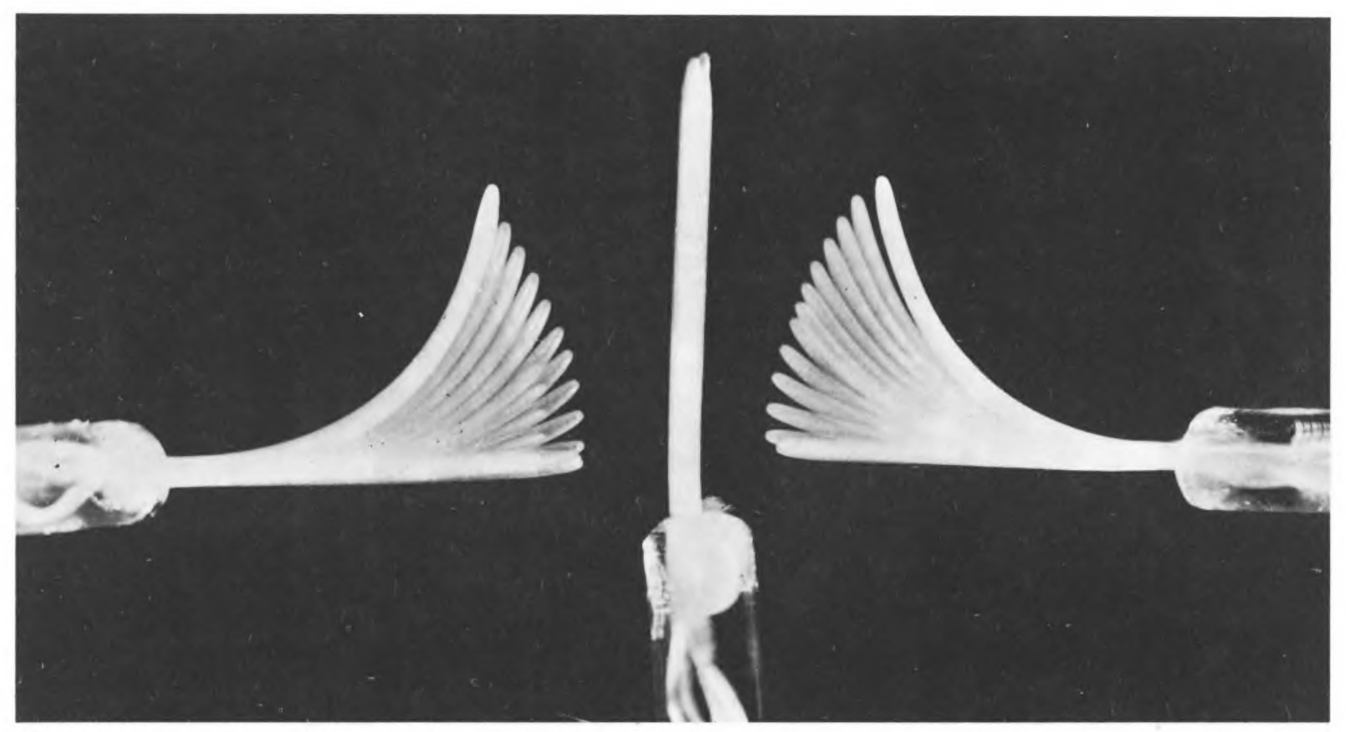
Если ростовые движения растений регулируются изнутри, то другие движения — тропизмы — обусловлены внешними стимулами. Так, стебель и листья наклоняются в сторону света. Листья дикого винограда, растущего на каменной стене, наклонены под прямым углом к свету, при этом они составляют «мозаику», чтобы меньше перекрывать друг друга и подставлять солнцу возможно большую площадь своей поверхности. Сила тяжести стимулирует рост самой лозы вверх, а ее корней — вниз. Восходящее движение лозы по поверхности стены объясняется ее реакцией на контакт с камнями.



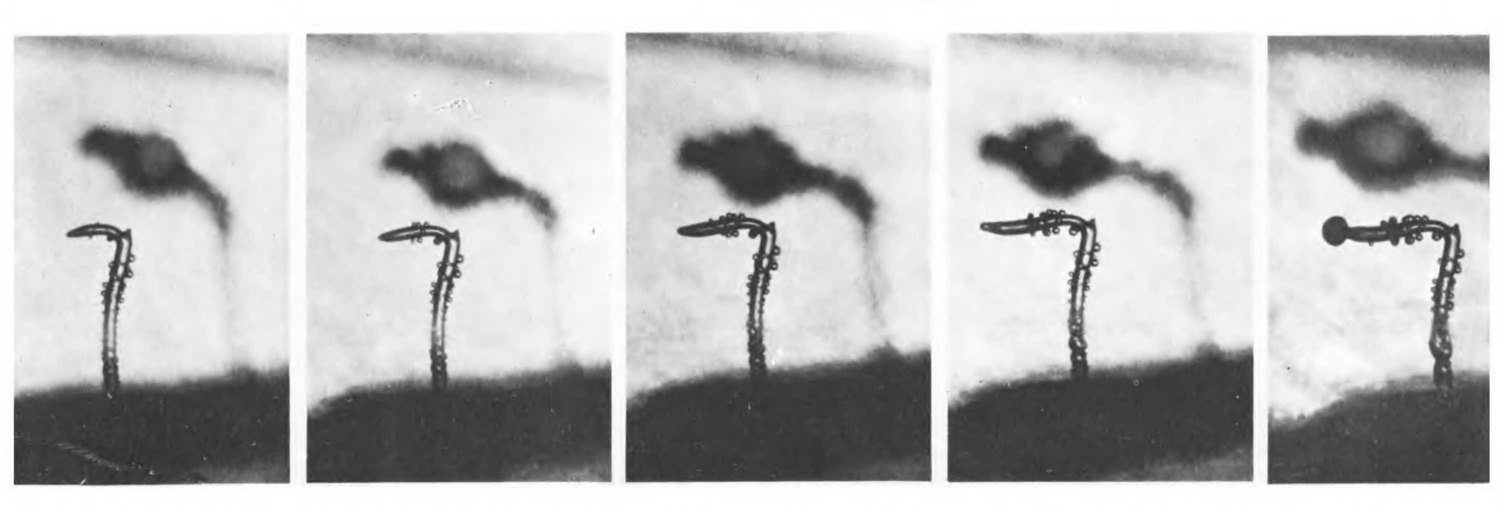
Вертикально растущие молодые плодовые тела гриба Pilobolus kleinii выбрасывают споры в сторону источника света. Перенесенный налево источник света изменяет направление роста гриба. Позади видны силуэты полностью сформировавшихся зрелых плодовых тел с набухшими стеблями и терминальными спорангиями, точно нацеленными в направлении света. Выбра-



пенно удлиняясь, превращается в стебель, поднимающий комок клеток на своей верхушке. Комок преобразуется в споры и по мере удлинения стебля поднимается все выше, пока наконец споры не будут готовы для рассеивания.



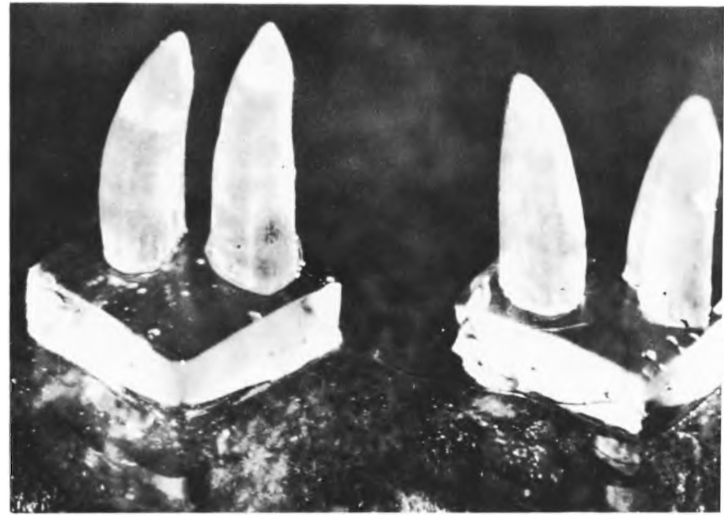
Проявление реакции растений на силу тяжести — геотропизма (фотографии делались каждые 10 минут). Правильно сориентированный при посадке проросток (в середине) рос вертикально вверх, тогда как в горизонтально расположенных проростках под действием силы тяжести гормон роста направлялся к нижней стороне, ускоряя там рост и приподнимая таким образом проростки.



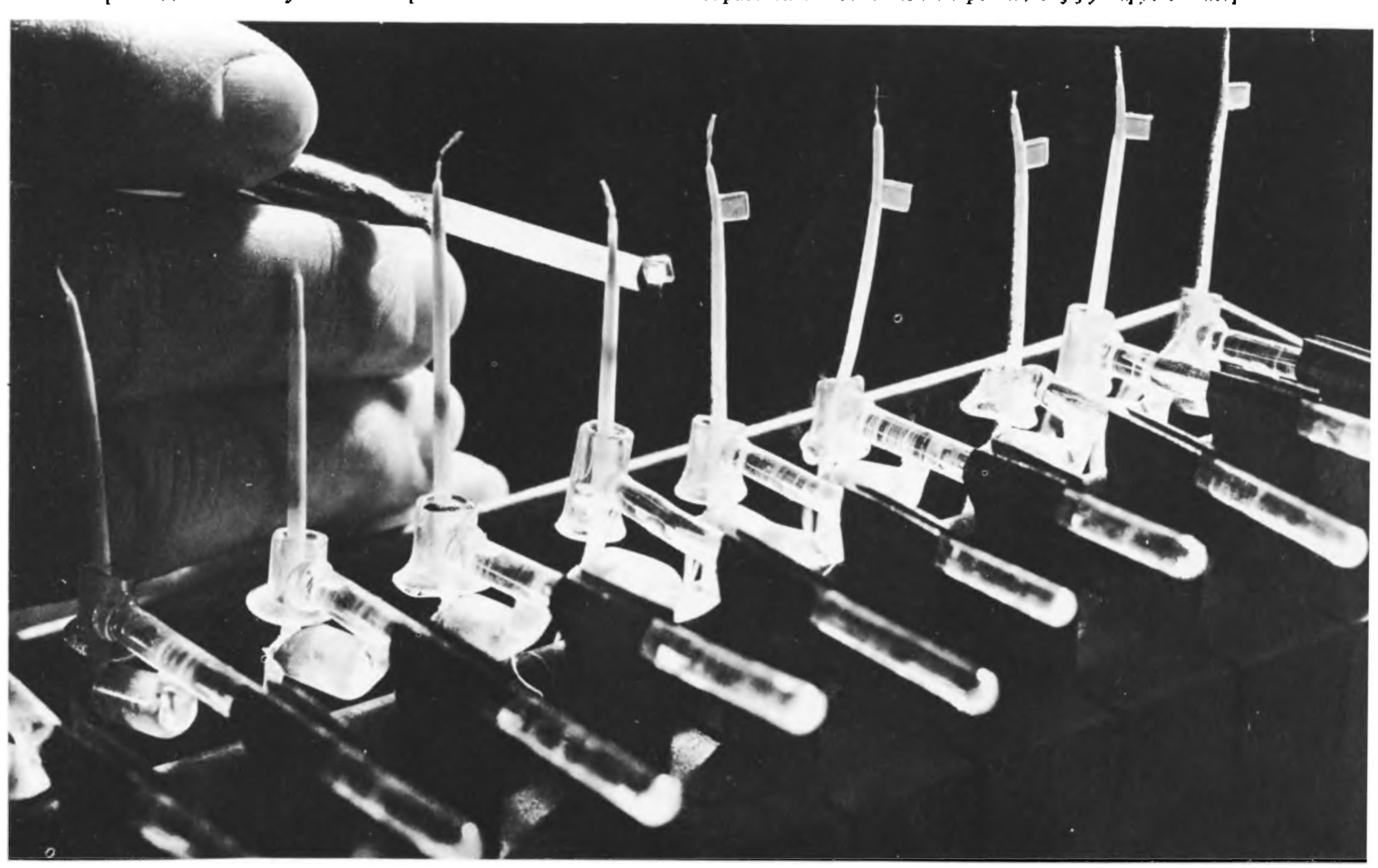
сываемые с силой споры прилипают к злакам и проглатываются травоядными животными; с их экскрементами, которые являются естественным субстратом для роста этих грибов, споры переносятся на новые места.

Кривые роста

Среди многих факторов, вызывающих рост растений, одним из важнейших является гормон, называемый ауксином. Он образуется в листьях и в точках роста растения. Ауксин не только стимулирует рост растения, но и управляет его реакцией на свет и силу тяжести. «Проба на овсе», разработанная доктором Вентом, наглядно показывает влияние ауксина. Когда у молодых проростков овса срезают верхушку, их рост прекращается. Если срезанную верхушку поместить на крошечный кусочек агара, то в него из верхушки диффундирует какое-то количество ауксина. Прикрепляя этот агар к обезглавленным побегам, можно возобновить рост клеток с той стороны, на которой находится агар, при этом проросток изогнется в противоположном направлении. Угол этого изгиба служит мерилом количества ауксина, перешедшего в кусочек агара.



Срезанные верхушки проростков овса установлены на агаровых блоках — первый этап опыта с применением теста, разработанного доктором Вентом. На этом этапе гормон ауксин, вырабатываемый в точках роста, диффундирует в агар.

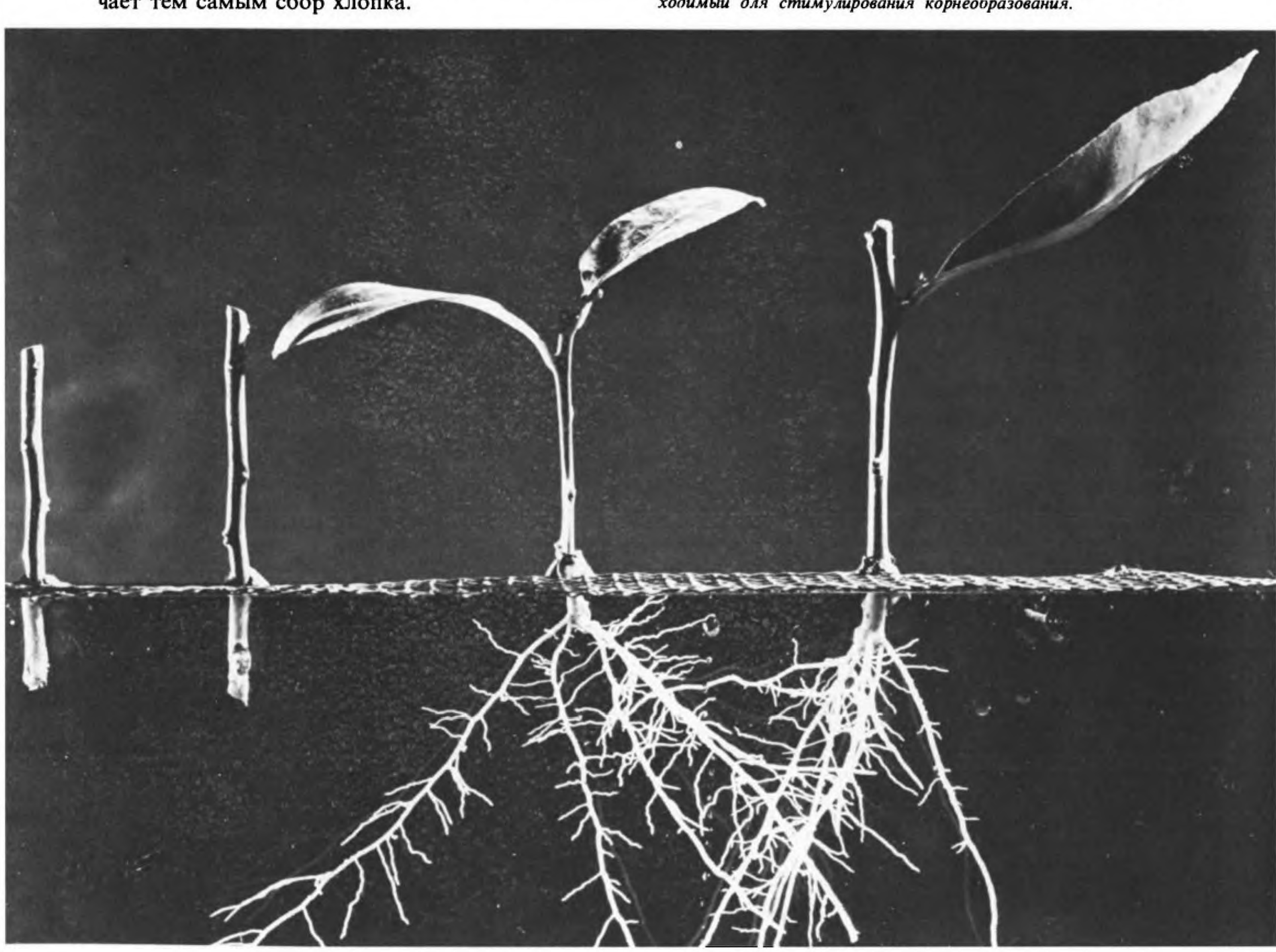


На втором этапе опыта блоки агара с ауксином из верхушки проростков овса прикрепляют к одной из сторон каждого проростка.

Изгиб проростков через 100 минут после начала опыта показывает, что ауксин возобновляет рост клеток, но только с той стороны, где помещены агаровые блоки.

Гормоны — ключ к управлению растениями

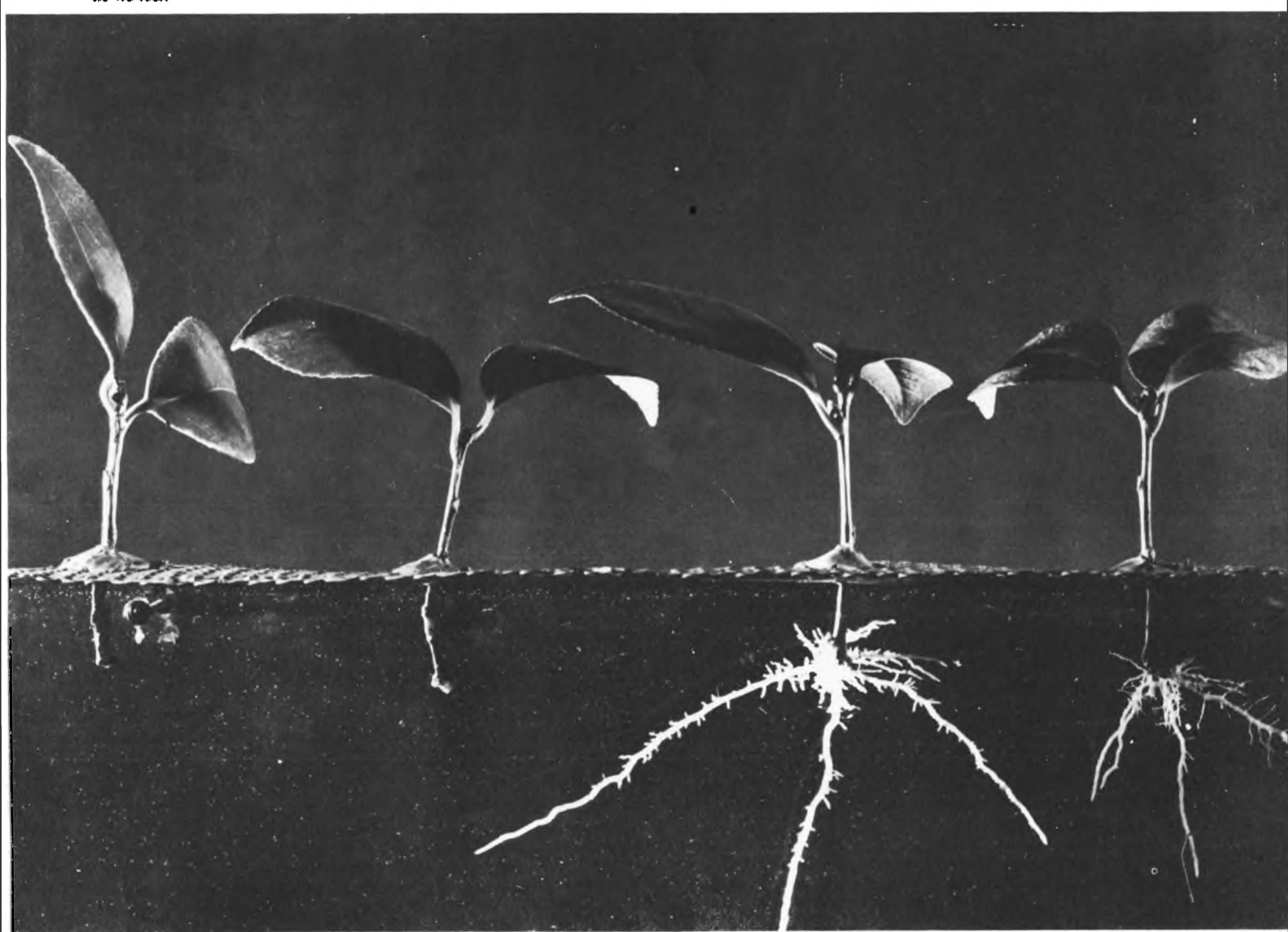
Растение развивается как единое целое, потому что в каждом из его важнейших органов вырабатываются гормоны, необходимые и для какой-то другой его части. Корни не могли бы расти, если бы не было витамина B_1, образуемого листьями большинства растений. Стебли независимо от того, сколько ауксина они получают из почек и листьев, перестали бы расти, если бы корни не снабжали их другим гормоном, называемым фактором X. Таким образом, именно гормоны — а не сахара, как это нередко предполагают, — определяют темп роста растений. Кроме того, гормоны управляют такими процессами, как опадение листьев и плодов. Так, ученые обнаружили, что опрыскивание яблонь ауксином предохраняет деревья от преждевременной потери плодов, а опрыскивание зрелых растений хлопчатника антиауксином вызывает опадение листьев и облегчает тем самым сбор хлопка.



Два черенка лимона с полностью удаленными листьями не образовали корней. Черенки, у которых листьев не удаляли, образовали хорошие корни — листья вырабатывали ауксин, необходимый для стимулирования корнеобразования.

У растения колеуса были отрезаны две листовые пластинки и черешки, таким образом, остались без источника ауксина. Затем один из черешков смочили ауксином, и он еще долго держался на растении, тогда как второй черешок отвалился из-за снижения в нем уровня содержания ауксина.

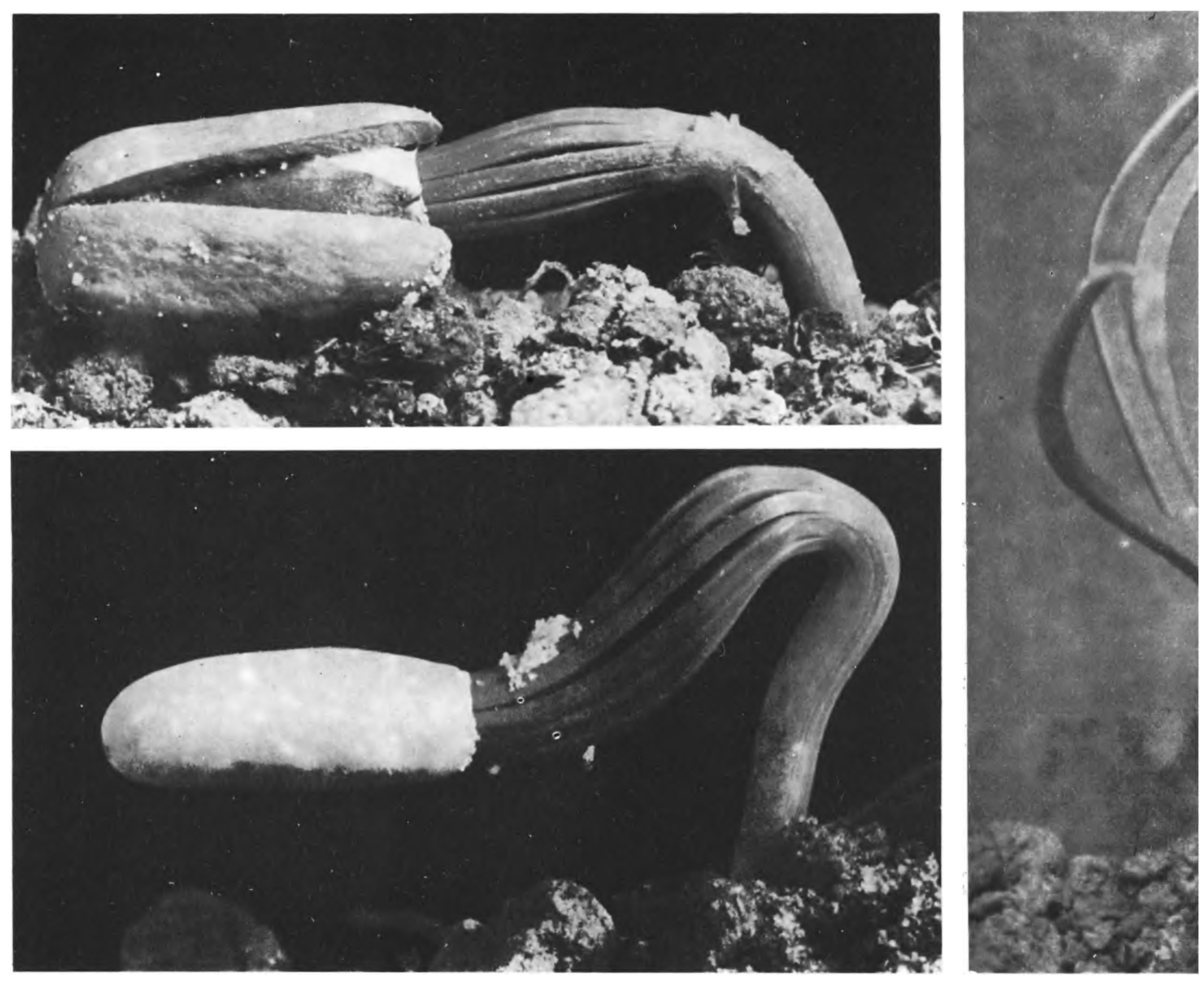
У двух черенков камелии, обработанных только ауксином (слева), рост корней едва наметился, а у черенков, обработанных ауксином и витамином B_1*, корни развились гораздо лучше. Обычно черенки камелии получают витамин* B_1 *в достаточных количествах из почвы.*



Проросток сосны итальянской посылает вниз свой первый корень.

Пробуждающийся зародыш

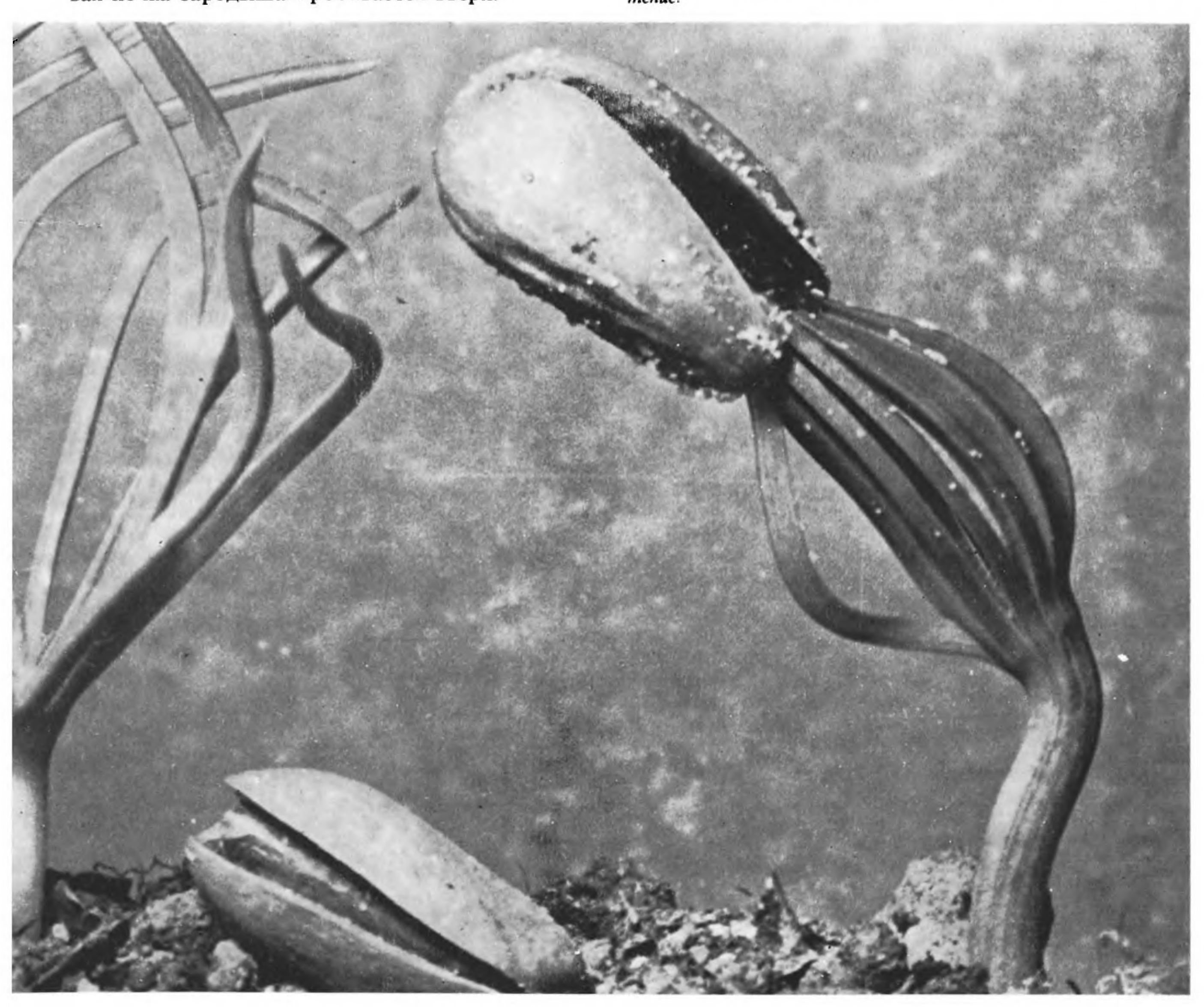
Прорастание семени, так часто рассматриваемое как начало жизни, для растения фактически является всего лишь возобновлением роста. С этим легко согласиться, вспомнив, что семя содержит зародыш — зачаток растения, который прошел стадию начального развития в материнском растении. После того как семя отделилось от родительского растения, ему приходится ждать — часто этот период покоя тянется очень долго, — пока внешние условия не окажутся подходящими для стимуляции ростовых процессов, которые начинаются, когда семя поглощает вла-



Прорвавший семенные покровы зародыш вбуравливается в землю в поисках воды (вверху). Плотно сжатые первичные листья, или семядоли, насыщаются влагой и сбрасывают покровы семени, а удлиняющийся стебель поднимает их над землей (внизу слева). Эндосперм, все еще прикрепленный к семядолям, обеспечивает питание, но скоро и он будет сброшен; эти семядоли

гу, активирующую его протоплазму. Вступают в действие ферменты, преобразующие крахмал в сахар и способствующие образованию других стимуляторов роста. Дыхание усиливается, освобождается энергия, и клетки зародыша начинают удлиняться. Сначала появляется корень, который закрепляется в почве, потом — росток; характер его роста у каждого вида особый. У фасоли, например, два зародышевых листа, или семядоли, вылезают из почвы вместе со стеблем, а у гороха они остаются под землей, когда первичная листовая почка зародыша пробивается вверх.

Выпустив свои настоящие листья (хвою), проросток сосны итальянской превратился в совершенно самостоятельное растение.



в отличие от семядолей многих растений не содержат запасов пищи. На правом снимке проросток слева уже развернул свои семядоли, а соседний все еще выпрямляется и лишь готовится стать настоящим деревом 6—11-метровой высоты.

От цветка к семени

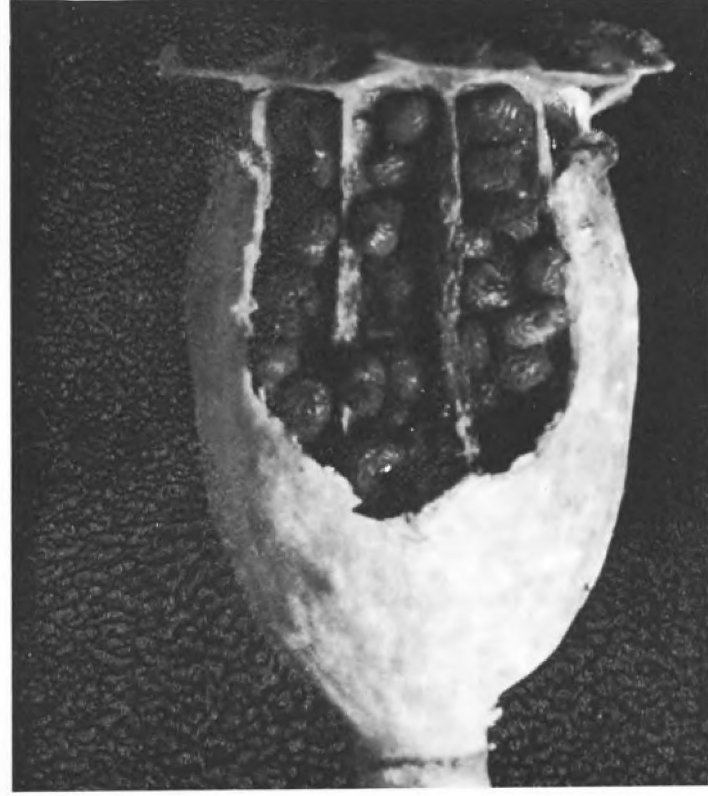
Хотя цветки и удивительно разнообразны по форме и окраске, все они предназначены для достижения одной и той же цели — образовать семена. Типичный цветок состоит из прикрепленных к цветоложу чашелистиков и лепестков, формирующих его околоцветник, в котором находятся тычинки и пестик с завязью. В пыльцевых мешках на верхних концах тычинок образуется пыльца, а завязь формирует семяпочки.

Когда пыльцевое зерно попадает на рыльце пестика, оно прорастает, образуя пыльцевую трубку, которая медленно продвигается по столбику вниз в завязь, где прорывает стенку семяпочки и доставляет туда свой «груз» — два ядра

Полностью развернувшись, лепестки мака расходятся в стороны от пестика и тычинок, а когда происходит оплодотворение, и вовсе опадают, и тогда завязь вместе с созревающими в ней семенами увеличивается и высыхает, превращаясь в плод-коробочку. На последней фотографии часть стенки коробочки удалена, чтобы показать находящиеся внутри семена.

Плотно свернутый внутри двух опушенных чашелистиков, бутон дикого мака раскрывается, когда начинают расти его лепестки. Чашелистики, оторвавшись от стебля, остаются на развертывающихся лепестках, желтеют и со временем падают на землю. Сильно смятые, но уже совершенно сформиревавшиеся лепестки все еще прикрывают тычинки и пестик — мужские и женские органы размножения.

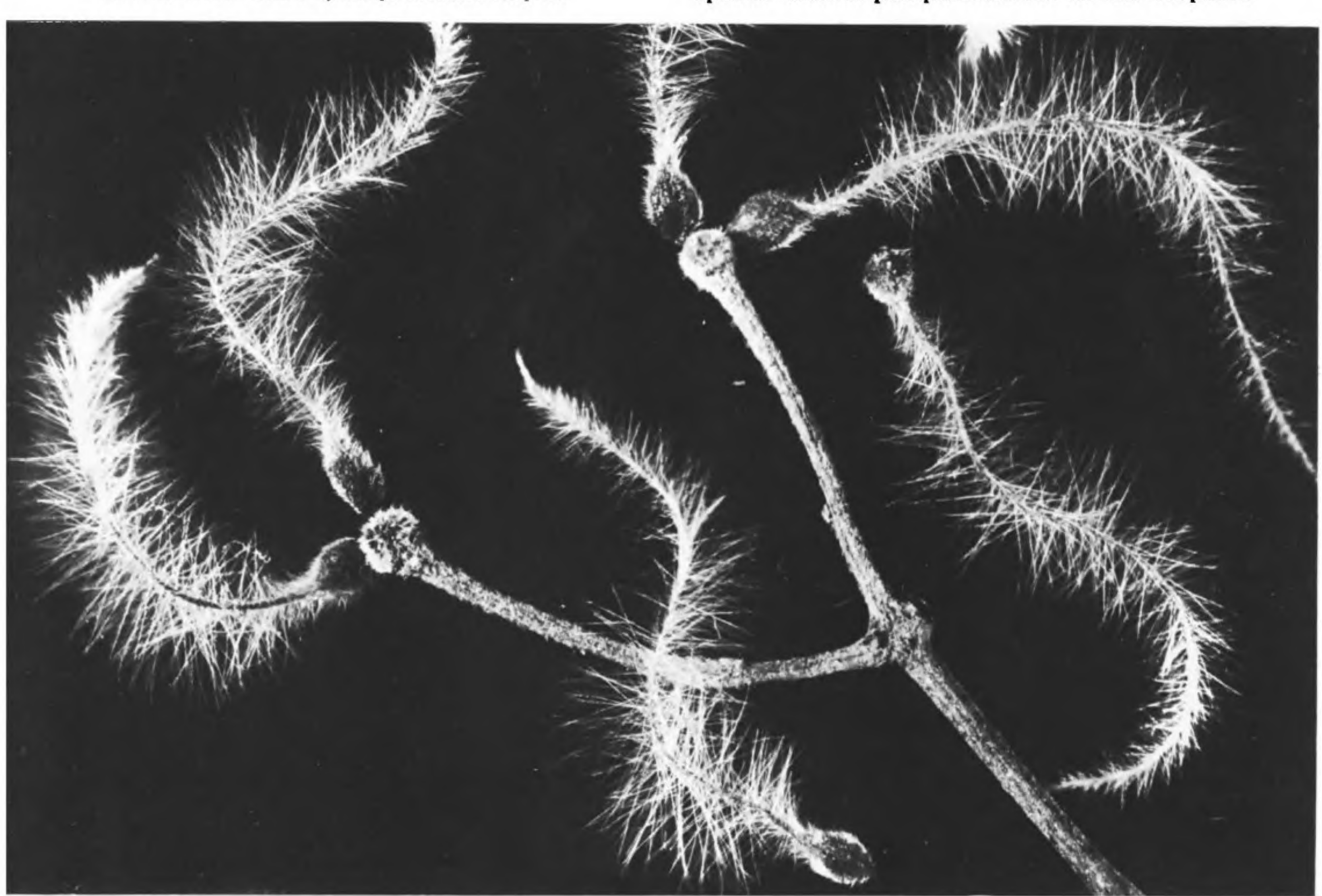
пыльцевого зерна. Для того чтобы яйцеклетка развилась в семя, должно произойти двойное оплодотворение: одно ядро пыльцы сливается с ядром яйцеклетки и дает начало зародышу, а второе — сливается с так называемым полярным ядром и образует эндосперм, или питательную ткань. У семян многих растений зародыш меньше, чем эндосперм; у таких растений, как кукуруза и другие зерновые, зародыш потребляет лишь часть запасенной пищи, резервируя остаток для начального роста проростка. По мере того как семя развивается, завязь разрастается в плод, который может быть мясистым или сухим, как коробочка у мака.



Парашюты и взрывающиеся бобы

Похожая на циферблат головка одуванчика становится выпуклой, когда при высыхании плоское основание соцветия выгибается, чтобы семена лучше разносились ветром.

Семена распространяются самыми разными переносчиками, включая ветер, воду, животных, но иногда их распространяют и сами материнские растения. Некоторые семена, например семена орхидей, так мелки и легки, что достаточно слабого ветерка, чтобы отнести их на далекое расстояние. У других семян есть особые и весьма разнообразные приспособления для этой цели — от крошечных парашютиков одуванчика до крючков и шипов череды, дурнишника и липучки. Некоторые семена с силой выбрасываются растением. Влажные половинки плода лещины виргинской, например, сдавливают свои скользкие семена и выталкивают их прочь. Семенные коробочки недотроги набухают по мере созревания, и когда они наконец лопаются, находящиеся внутри зрелые семена разбрасываются во все стороны.



Опушенные семена ломоноса парят в воздухе. Их перистая часть образуется из столбика, который у большинства других растений по мере развития семян опадает.

Далеко разносятся ветром вывернутые зонтики семян козлобородника.

Эти секвойи — древние гиганты калифорнийского леса возвышаются на десятки метров над покрытой папоротниками лесной подстилкой. Здесь, где ночи влажные и прохладные, а дни жаркие и воды всегда вдосталь, некоторые из этих деревьев растут уже по 3000 лет.

6

Формирующее действие климата

Как и у любого другого живого организма, у растения есть своя индивидуальность, определяемая его генетической структурой и сформированная теми условиями внешней среды, в которых оно растет. Селекционеры знают об этом, и вовсе не пустая восторженность заставляет их говорить о своих тюльпанах, розах или фиалках, употребляя те же выражения, которыми пользуются страстные поклонники собак и кошек, рассказывая о своих любимцах. Просто они немало потрудились, прежде чем получили что-то необычное, лучшее, да и выхаживают они свое детище начиная с луковиц, семян или черенков до его полного развития. Недаром о таких садоводах говорят, что у них «золотые руки». Каждый из них очень хорошо понимает, что растения для наилучшего роста и развития нуждаются в соответствующей почве, достаточном поливе и наиболее подходящих температуре и освещенности. Именно взаимодействие всех этих факторов внешней среды с конкретными генетическими особенностями растения и определяет характер его роста.

Может показаться, что некоторые растения наделены «чувствами». Характернейший пример — мимоза тропической Америки, метко названная «стыдливой» и растущая в незатененных влажных местах, на лугах или полянах. Если ее грубо дернуть или даже просто коснуться ее листьев, они складываются, будто опасаясь повреждения. Вполне возможно, что в этом случае срабатывает защитный механизм, направленный на то, чтобы спасти растение от пасущихся животных — внезапное поникание растения, вызванное резким изменением тургора клеток в местах присоединения листочков и черешков листьев, должно убедить животное, что оно несъедобно*. Еще более удивительна его реакция на то, что мы в применении к людям назвали бы шоком: если к верхнему листочку поднести горящую спичку, этот лист

* Многие ботаники полагают, что это защитное приспособление, предохраняющее растения от вреда, причиняемого сильными тропическими ливнями.

немедленно сложится, а за ним быстро сложатся и все другие листочки; затем постепенно реакция охватывает сочленения второго порядка и, наконец, медленно распространяется вверх и вниз по всему стеблю, как бы вызывая общее увядание. Все это напоминает крайне замедленную передачу раздражения по нервной системе животного.

На самом деле растения не имеют нервов и, следовательно, не чувствуют боли, поэтому нельзя говорить о наличии у них каких-либо ощущений. Они непосредственно реагируют на свет, силу тяжести, температуру, влажность, химические вещества — то есть на все, что окружает растения и животных. Они стремятся к свету, противостоят ветру, выпрямляясь или сгибаясь по необходимости, ориентируют корни и стебли, как им диктует сила тяжести, и разыскивают питательные вещества и воду в почве. Они приспосабливаются к своему окружению. Навсегда закрепленные в одном месте, растения вынуждены мириться с дождем, ветром, зимним морозом и летней жарой. В гораздо большей степени, чем животные, они должны приспосабливаться к конкретным условиям своего местообитания.

Почва, безусловно, важный фактор внешней среды растения. Она невероятно сложна по составу содержащихся в ней органических и минеральных веществ, по составу населяющих ее бактерий и животных; в ней постоянно роются нематоды, личинки жуков, дождевые черви, гоферы и многие более крупные животные; на ее поверхности животные откладывают продукты своей жизнедеятельности; немало в ней и разлагающихся растительных остатков. Нет двух почв, которые были бы действительно идентичными, однако для верхних слоев каждой хорошей почвы характерен ряд общих, весьма благоприятных для растений свойств. Они способны удерживать большие количества воды: до 20—40% своего веса и даже больше; могут накапливать питательные вещества, делая их доступными для корней растений, когда это требуется. Плодородные почвы в больших количествах содержат азот, фосфор, магний и калий, но зато лишь ничтожные количества так называемых микроэлементов — железа, цинка, меди, марганца, молибдена и бора; правда, и растениям они требуются лишь в ничтожных количествах.

Обычно растения достаточно хорошо приспособлены к тому количеству воды и питательных веществ, которое имеется в почве их естественных местообитаний. На плодородной почве возможно интенсивное возделывание культур, но когда человек пытается получить с обрабатываемых полей максимальный урожай, его требования к почве повышаются, и природные запасы воды и питательных веществ приходится дополнять орошением и удобрением. Этот путь позволяет эффективно использовать и изменять почву в соответствии с требованиями растения и земледельца.

Однако важнейшим из основных факторов среды обитания растений является все-таки не почва, а климат. Если хоть на минуту задуматься над тем, что именно мы подразумеваем под словом «климат», то очень скоро станет ясно, насколько это неточный термин. Понятие «климат» не представляет собой ничего конкретного; абстракция чистой воды. Это средняя погода, характерная для данного места, а мы знаем, какой ненадежной и изменчивой она может быть. Климатологи определят по метеосводкам, что, например, какая-то местность характеризуется дождливым летом со средним количеством осадков 500 миллиметров и сухой зимой, но ни они и никто другой не способен предсказать, сколько дождя выпадет в такой-то день или даже месяц. Нельзя предсказать и какова будет температура воздуха, она еще более изменчива. В течение дня температура всегда повышается, за ночь сильно падает — ситуация настолько сложная, что метеорологи различают среднюю суточную, максимальную и минимальную температуры. Но для растения важны не средние значения: не имея возможности регулировать свою собственную температуру, оно реагирует на фактически существующую температуру воздуха. Как мы увидим дальше, плоды на растениях томата завязываются, только когда ночная температура держится около 18° С, а средняя температура составляет 21—24, а то и 27°; средняя же температура 18° С не обеспечивает образования плодов; важна разница между дневной и ночной температурами.

Как же узнать, какие именно климатические условия предпочитает растение? Можно, например, выращивать растение в различных местах и наблюдать за ним. Но это мало что даст нам — ведь двух одинаковых в отношении погоды лет не бывает, и в один год растение может развиваться намного лучше, чем в другой. Например, в 1955 году в штате Нью-Джерси было необычно жаркое лето и средний урожай томатов составил всего 6,5 тонны с гектара, тогда как в предшествующем году он был почти вдвое больше. Калифорния — один из немногих штатов с относительно устойчивой летней погодой, и урожаи томатов там получают тоже устойчивые.

Однако и урожаи томатов в Калифорнии не могут подсказать нам, какие особенности климата больше всего способствуют высокой продуктивности растений. Это можно определить лишь в лаборатории, где все климатические условия, включая температуру, влажность, свет и ветер, регулируются. Только выращивая томаты в точно регулируемых климатических условиях, искусственно создавая более прохладную или более

теплую летнюю, весеннюю или осеннюю «погоду», я смог подтвердить, что критическим фактором их роста была ночная температура. Если ночью она поднималась выше 24° С или падала ниже 16° С, томаты вообще не завязывались. Урожай был высоким только тогда, когда ночные температуры колебались в этих пределах. Поэтому в жаркое лето урожаи томатов, безусловно, должны снижаться.

Ночные температуры решающим образом влияют также и на урожаи картофеля. Пока температура не будет держаться около 12° С, клубнеобразование идет слабо. Это, несомненно, создает большие трудности при одновременном выращивании томатов и картофеля; когда ночные температуры оптимальны для завязывания плодов томатов, они не подходят для формирования клубней, и наоборот. Вот почему в графстве Линкольншир и в Ирландии с их прохладным летом выращивают превосходный картофель, а остров Джерси является основным районом производства томатов для Англии.

Многие склонны думать, что мороз — это главный климатический фактор, обусловливающий распределение растений по Земле; тропические растения мороз убивает, растения умеренной зоны переносят его. На самом деле растения гораздо более тонко воспринимают температуру. И вот вам превосходный пример: африканская фиалка будет хорошо расти, если ее держать в тепле, особенно ночью (21—24° С), и погибает уже при температуре около 10° С — задолго до появления минусовой температуры. Обычный диагноз при установлении причины гибели африканских фиалок: ночью было открыто окно. Поэтому я делю любителей комнатных цветов на две категории: на тех, кто может выращивать африканские фиалки, и на тех, кто не способен на это, или соответственно — на тех, кто спит с закрытыми, и тех, кто спит с открытыми окнами. По прямо противоположной причине маргаритки и другие весенние цветы нельзя выращивать в комнате: они гибнут, потому что в помещении для них слишком тепло.

Добиваясь того, чтобы клумбы всегда были в цвету, садовники используют разное отношение цветов к климатическим условиям. Растения, требующие тепла, такие, как циннии и петунии, высаживают в середине лета, тогда как растения, любящие прохладу, например левкои и анютины глазки, выращивают весной. Розы — идеальные садовые растения: они растут и цветут в любое время года, кроме зимы, переносят и жаркую, и холодную погоду; их можно видеть в садах всего мира. Растений, обладающих таким же широким диапазоном температурной устойчивости, немного.

ОПТИМАЛЬНЫЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ДЛЯ ВЫРАЩИВАНИЯ РАСТЕНИЙ

Из многих факторов, влияющих на развитие растений, садоводы-любители чаще других не принимают во внимание разницу между дневной и ночной температурами. Указанные ниже температуры наиболее благоприятны для цветения и завязывания семян следующих широко распространенных растений.

Растение	*Температура, С*	
	дневная	*ночная*
Фиалка африканская	*23*	*18*
Петуния	*28*	*16*
Цинния	*27*	*18*
Левкой	*16*	*13*
Маргаритка	*16*	*9*
Каллистефус (астра)	*24*	*16*
Томаты	*24*	*18*
Эшшольция	*18*	*10*

Казалось бы, тропики, имеющие благоприятную температуру в течение всех 12 месяцев в году, должны быть идеальным местом для выращивания растений. Однако, как это ни странно, большинство листопадных деревьев и кустарников умеренного климата растут в тропиках не лучше, чем их тропические антиподы — в более прохладном климате. То же относится и к весенним луковичным растениям — желтым нарциссам, тюльпанам или гиацинтам. В первый сезон может показаться, что они растут хорошо, но после отмирания листьев и цветков они впадают в состояние, сходное с зимним покоем, из которого они просто уже не выходят. Столь же губительно держать грушевые или персиковые деревья зимой в обогреваемой теплице. Все это указывает на крайне интересное действие холода на эти растения умеренной зоны: они так же нуждаются в нем, как тропические растения — в тепле, но по-своему.

Суть дела заключается в том, что эти листопадные деревья и луковичные растения после того, как они осенью потеряют листья, и до того, как прекратится их покой и они смогут снова возобновить рост, должны подвергнуться в течение известного периода времени воздействию холода. Только подвергнувшись этому воздействию, они получают информацию об окончании зимы. Представьте, что случилось бы, если бы весеннее тепло было единственным фактором их пробуждения. Не по сезону теплый месяц в середине зимы мог бы заставить их преждевременно раскрыть почки и они были бы убиты морозом при возвращении холодов. Но это предотвращает весьма необычный защитный механизм, настолько точно приспособленный к местному зимнему климату, что, например, сорт персика с востока США, привыкший к холодным зимам, нельзя выращивать во Флориде или Калифорнии, тогда как калифорнийский сорт почти наверняка погибнет на северовостоке США, где его покой будет нарушен любым кратковременным потеплением задолго до того, как кончится зима.

Особенно наглядным примером такой системы регулирования температуры могут служить весенние луковичные растения. Летом, в период высоких температур, сформировавшиеся луковицы тюльпанов и гиацинтов закладывают листья и цветки для следующей весны. Если их в это время выкопать и осторожно расчленить, можно ясно увидеть листья и цветки внутри луковицы. Однако новообразованные листья и цветки до тех пор не появятся из луковицы, пока они не проведут некоторое время при очень низкой температуре, как раз такой, какую они могли бы испытать зимой. По этой-то причине луковицы и убирают в холодное помещение, прежде чем снова высадить в грунт. Точно так же большинство деревьев и кустарников, цветущих ранней весной, уже осенью (а некоторые начиная с августа) имеют сформировавшиеся и готовые раскрыться листья и цветки, аккуратно свернутые в почках, но требуется двойной сигнал — зимних холодов и первого весеннего тепла, — чтобы стимулировать раскрытие почек. Из чего именно складывается химический механизм, участвующий в этом чудесном явлении природы, мы не знаем; возможно, здесь играет роль какой-нибудь ингибитор, который постепенно разрушается холодом; если это так, то нам еще предстоит его обнаружить.

Несомненно, многое в распределении растений на земном шаре вызвано разницей температур. В этом можно наглядно убедиться, поднимаясь в горы: например, взбираясь в перуанских Андах или на Новой Гвинее от уровня моря до высоты 4800 метров, можно наблюдать весь диапазон температур — от тропической, субтропической, умеренной и субарктической до арктической, — словно мы совершаем путешествие протяженностью 8640 километров от экватора до Полярного круга. Распростившись с тропической растительностью на берегу моря, путник встретит на средних высотах дубовые леса, а еще выше — хвойные. Наконец, в 300 метрах ниже области вечных снегов перед ним предстанет тундровый ландшафт.

У границы леса кончаются все изменения, выше уже деревья не растут. И не потому, что здесь высоко, а потому, что холодно. В тропиках верхняя граница леса проходит на высоте от 3900 до 4200 метров, в горах Сьерра-Невада (штат Калифорния) и на севере Скалистых гор — на высоте 3000—3600 метров, а в Альпах — 1800 метров. В горах Уайт-Маунтинс (штат Нью-Гэмпшир) граница проходит на высоте 1500 метров, а на юге Аляски — всего лишь в 300—900 метрах над уровнем моря. За верхней границей леса простирается зона растительности, сходной с тундровой, — холодостойкие злаки, мхи и карликовые кустарники. Еще выше в зоне арктических температур можно встретить лишь редкие лишайники, произрастающие на открытых солнцу камнях, которые время от времени прогреваются до температуры выше нуля, что и позволяет существовать этим самым холодостойким из всех растений.

Другим не менее важным фактором, влияющим на формирование растительности на Земле, является вода. Одна четверть всей поверхности суши на Земле чрезмерно суха или слишком холодна для произрастания растений. Другая четверть полузасушлива, и ее покрывает лишь скудная растительность — обширные безлесные территории степей и полупустынь с устойчивыми злаками, полынью и низкими полукустарниками, которые могут обходиться минимальным количеством воды. Остальная половина суши получает достаточно много осадков и солнечного тепла и могла

бы иметь богатый растительный покров; бóльшая ее часть была бы покрыта лесами, как это ранее и было, пока не вмешался человек.

При достаточно благоприятных температуре и влажности легко восстанавливается лесная растительность. Однако там, где воды слишком много, как, например, в озерах и болотах, деревья расти не могут. Правда, есть и исключения: мангровые деревья и болотные кипарисы. Приспособления, которые выработались у этих двух видов, крайне интересны.

Мангровые растения встречаются вдоль всех тропических побережий, там, где илистые низины периодически затопляются морскими или океанскими приливами. В иле нет кислорода, а так как корни всех растений нуждаются в нем, растениям приходится изыскивать способы подачи кислорода к корням. Мангровые деревья осуществляют это своим, особым образом. Наиболее распространенное мангровое дерево из рода *Rhizophora* образует похожие на ходули воздушные корни, которые отходят от ствола выше приливной линии и, следовательно, могут постоянно поглощать воздух. Другие растения, из рода *Sonneratia*, имеют широко разветвленную корневую систему; основные корни идут сквозь ил горизонтально, а серия вертикально растущих корней выходит наружу над илом и водой. Для этих корней характерно губчатое строение, они полны воздушных каналов, через которые и осуществляется дыхание.

Болотный кипарис, обычный для болотистых мест юга США, выработал несколько иное приспособление. У него имеются особые дыхательные корни — «колени» — искривленные части основных корней, которые проходят сквозь ил и через строго определенные интервалы приподнимаются над водой. По своим многочисленным воздушным каналам «колени» снабжают кислородом все остальные корни. Такие типично болотные растения, как тростники и ситники, поставляют воздух своим корням по стеблю.

Из всех лесов земного шара наиболее разнообразен видовой состав тропических джунглей и дождевых лесов. Почему это так, объяснить трудно — условия конкуренции здесь очень жестки и можно было бы ожидать, что лишь немногие виды смогут выжить. Однако в джунглях* насчитывают от 100 до 200 различных видов деревьев, растущих совместно в диком и на первый вгляд беспорядочном переплетении.

Но это и хорошо для джунглей — хотя бы потому, что защищает их от человека. Десяток или около того экономически ценных видов деревьев

* Понятие «джунгли» ботаники применяют лишь для некоторых типов лесов Индии.

ДВОЙНАЯ ЖИЗНЬ

Пресноводное растение уруть (Myriophyllum) имеет два вида совершенно разных листьев: одни расположены над водой, другие — под водой. Подводные листья, более длинные и узкие, чем находящиеся в воздухе, обеспечивают максимальную поверхность для ассимиляции растворенных в воде газов. Они сносятся течением и постоянно изменяют свое положение по отношению к свету, поэтому структура их верхней и нижней поверхностей не дифференцирована. Этого нельзя сказать о надводных листьях, у которых есть и замыкающие клетки, и устьица, и гораздо больше одревесневших тканей, необходимых для поддержания растения.

так редко рассеяны в буйном изобилии бесполезной растительности, что почти нерентабельно валить и вывозить их.

В более сухих тропических областях лесов меньше, да и разнообразие видов деревьев там не так велико; наиболее типичны для этих областей муссоновые и колючие леса.

Тиковые леса Индии относятся к категории муссоновых лесов — в засушливый период деревья теряют листья, и местность приобретает зимний облик. Каатинга в штате Сеара в Бразилии относится к типу колючих лесов и представляет собой обширные заросли кустарниковой растительности с постепенным переходом к пустыне, где количество осадков меньше 30 миллиметров в год.

Леса зоны умеренного климата менее богаты по видовому составу, чем тропические, и обычно насчитывают не более десятка видов деревьев. В основном здесь растут смешанные леса из лиственных и хвойных пород. Ужасающе большая доля всех лесов умеренной зоны была сведена на древесину или уничтожена при расчистке площадей под сельскохозяйственные культуры. Это потребовало посадки искусственных лесов с неизбежным для них видовым однообразием. Вряд ли в Западной Европе остался хоть один участок естественного леса. В США тоже резко сокращаются богатые древостои природных смешанных лесов, подобных лесам Аппалачских гор.

В Австралии совершенно иной тип лесов, их главным компонентом являются эвкалипты с примесью некоторых акаций. Удивительно, что один род доминирует на целом континенте. От прибрежной полосы до высоких гор, от холодной Тасмании до тропической Северной территории — везде растут самые разные виды эвкалиптов: низкие кустарниковые эвкалипты (мали-скраб), гигантский эвкалипт разноцветный и эвкалипт царственный, покрывающий горы восточных районов штата Виктория. Это один из самых красивых и величественных лесов, какие я когда-либо видел.

Наиболее поразительные леса на земном шаре — несомненно, леса секвой в Калифорнии, хотя и в других частях света также имеются свои гигантские деревья с диаметром ствола в несколько метров. Огромны деревья агатиса новозеландского и фитцрои патагонской, растущей в южных районах Чили. Следующими по размерам, вероятно, должны быть названы ливанские кедры и кедры Атласских гор на севере Африки, в настоящее время почти полностью исчезнувшие. Странно, что все эти гигантские деревья относятся к хвойным, классу растений, который сейчас по числу видов уступает цветковым. Невольно вспоминаешь о других гигантах — динозаврах, уже давно исчезнувших с лица Земли; но хвойные

ЗЕЛЕНЫЙ КОМПАС

Листовые пластинки молокана, обычного сорняка в Европе и США, расположены в плоскости, обращенной к дневному пути Солнца — с востока на запад. Если на молокан смотреть с восточной или западной стороны (левый рисунок), он кажется широким растением, а с северной или южной стороны — совсем плоским (правый рисунок). Такой характер роста обеспечивает молокану наиболее полное освещение солнцем в течение большей части дня.

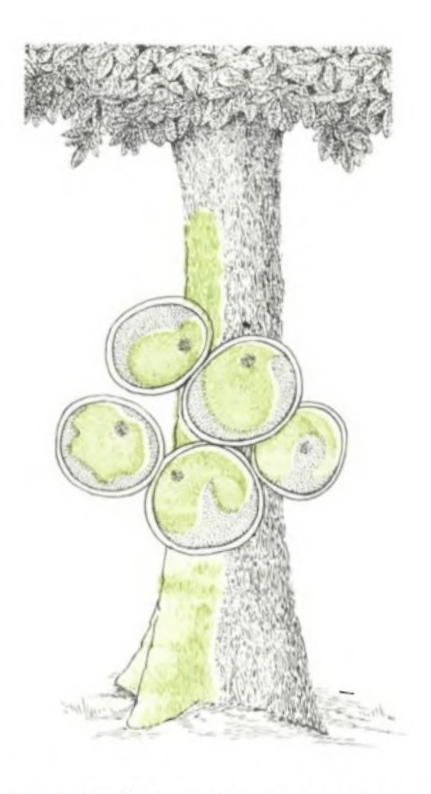
гиганты еще имеют шансы выжить, несмотря на то что человек непрерывно сокращает их численность.

В более холодных областях Северного полушария лиственные или смешанные леса сменяются сосновыми, еловыми и пихтовыми. Обычно в них есть примесь немногих лиственных пород. таких, как осина и береза, что создает богатство красок осенью, когда их золотая листва контрастирует с мрачной зеленью хвои и синевой неба. Дальше на север деревья становятся менее высокими и какими-то «потрепанными» из-за отмерших вершин и усыхающих ветвей — красноречивое свидетельство борьбы, которую они ведут со все более суровыми условиями жизни. Еще дальше леса уступают место низкой кустарниковой растительности, переходящей в тундру. Эта зона простирается до мест, где почва даже в разгар лета оттаивает лишь на глубину нескольких сантиметров. Еще севернее не растет никаких растений.

Итак, до сих пор мы говорили о растениях, которые требуют вполне определенных и специфических климатических условий и потому растут в весьма ограниченных районах. Но разве растения не могут приспособиться к другому климату? И вообще можно ли их акклиматизировать?

На этот вопрос ответить нелегко: растения вырабатывают свои приспособления, которые составляют единое целое со всем организмом и, как правило, не поддаются изменению. Зимой шерсть у животных становится более густой или более длинной, а листопадные деревья, наоборот, теряют свои нежные листья. Даже если перенести листопадное дерево в более теплый климат, оно все равно будет сбрасывать листья. Тропическое же растение, у которого не происходит периодического опадения листвы, не станет листопадным, если его выращивать в умеренном климате. Неважно, сколь долго и как часто мы будем пытаться изменить эти свойства, — растение останется верным своей природе. Механизм реакций растения может быть изменен окружающей средой только в очень ограниченных пределах и явно недостаточно для того, чтобы растение смогло произрастать в совершенно другом климате. Эта ограниченная приспособляемость растений чаще всего и препятствует их распространению за пределы природных местообитаний.

Однако человек не бессилен против такого постоянства реакций растения. Пользуясь новыми средствами, предоставляемыми ему наукой и техникой, он располагает целым рядом способов изменения этой специфичности адаптаций к климатическим условиям. Со времени первых путешествий Колумба многие растения, такие, как кукуруза, картофель и табак, перекочевали из



ПРИБЛИЗИТЕЛЬНЫЙ СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НАПРАВЛЕНИЯ НА СЕВЕР

Мнение о том, что мох на деревьях указывает направление на север, не совсем верно: во-первых, на деревьях растет не мох, а зеленая водоросль, и, во-вторых, она указывает северное направление лишь приблизительно. Одноклеточная водоросль (в кружках) плеврококк заселяет ту сторону дерева, которая лучше всего защищена от иссушающего солнечного света. Конечно, чаще всего это бывает северная сторона, но водоросли покрывают слишком широкую часть ствола, чтобы точно указывать направление.

Америки в Европу, Азию и Африку, а пшеница и горох пересекли океан в обратном направлении. Это осуществилось относительно легко, поскольку растения переместились в места со сходным климатом.

В настоящее время перед человеком открыты гораздо большие возможности для выращивания растений, которые ему нравятся или нужны. В тех случаях, когда местный климат не подходит для какого-то растения, человек может локально или в более широких масштабах изменить климат. Он может попытаться изменить, правда далеко не всегда успешно, реакцию растения на климат путем направленного отбора или проведения специальной селекционной программы. Он может также подобрать для данного растения районы с наиболее благоприятным температурным режимом или климатом с такими же критическими температурами и другими параметрами, как и на его родине.

Первую из этих возможностей — локальное изменение климата — человек использует очень давно, с тех самых пор, как стал заниматься сельским хозяйством. Недостаток осадков компенсируется орошением. Слишком сильные ветры обуздываются защитными посадками. Губительно низкие дневные температуры нейтрализуются выращиванием растений у стен, обращенных к югу. И наконец, использование теплиц. Широко применявшиеся в XVII веке как обогреваемые помещения. в которые переносили растения на время зимних холодов, они впоследствии были снабжены застекленными крышами, и это обеспечило растениям обилие света и солнечного тепла. Затем теплицы были оборудованы вентиляторами для поддержания в них прохлады в жаркие летние месяцы, а сейчас благодаря кондиционированию воздуха можно воспроизвести в теплицах все типы климатов.

Как ни странно, но теплица, оборудованная кондиционирующим устройством, была впервые сооружена лишь в 1933 году. Тогда не отдавали себе отчета, какие огромные количества воздуха требуются для устранения перегрева, создаваемого в теплице солнечной радиацией. В наше время устройствами для кондиционирования воздуха оборудованы многие теплицы. Самая замечательная из них — климатрон в Сент-Луисе (США); она имеет под своей куполообразной крышей из плексигласа ряд различных тропических климатов.

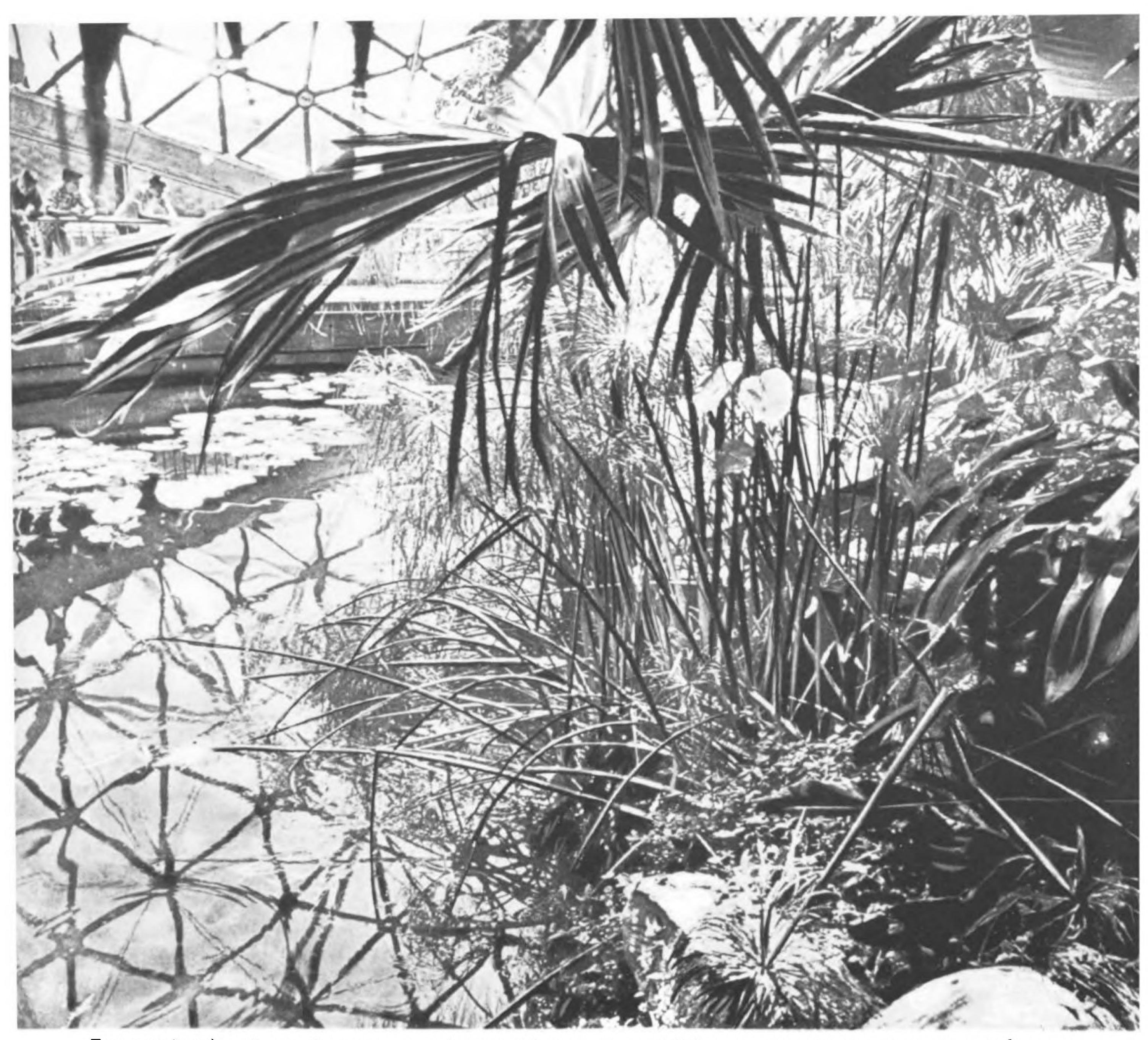
Создание благоприятного климата при помощи теплиц применимо, конечно, только для таких культур, как цветы и некоторые фрукты и овощи. Выращивание основных продовольственных культур в таких условиях пока экономически неоправданно. Но можно попытаться изменить растения. О том, что это возможно, говорят результаты гибридизации томатов, кукурузы, пшеницы и многих других культур, которые теперь выращивают в гораздо более широком диапазоне климатических условий, чем раньше.

Насколько глубоко изучили мы мир растений? Еще десять лет назад мы рассматривали растения и животных только как обитателей Земли. В настоящее время мысль о возможности существования жизни в космическом пространстве перестала быть уделом фантастики и стала темой научных исследований. Возможно ли существование растительности, аналогичной той, что растет на Земле, но свободной от ограничений нашей земной среды обитания?

При любой попытке ответить на такой вопрос необходимо прежде всего учитывать ограничения, накладываемые на жизнь, знакомую нам по нашей планете. Из всех существующих во вселенной температур — от сотен градусов ниже и до миллионов градусов выше нуля — активная жизнь возможна лишь в диапазоне от 0 до 50° С. Чтобы выжить при более низких температурах, нам необходимо искусственно поддерживать тепло нашего тела; растение в таких условиях временно приостанавливает жизнь; и лишь очень немногие бактерии и примитивные водоросли могут жить в горячих источниках, да и то при температуре, не превышающей 80° С. Этот узкий предел делает горячие внутренние или замерзшие внешние планеты нашей Солнечной системы маловероятным местом обитания для растений.

Что касается состава воздуха, то без свободного азота растение может обойтись, а вот любое снижение концентрации кислорода более чем наполовину будет гибельным для животных и человека; для растений критическое содержание кислорода равно примерно четверти нормального. Однако без углекислоты в воздухе растения существовать не могут. Поскольку атмосфера большинства внешних планет, по-видимому, состоит в основном из метана, маловероятно, чтобы на них существовали растения. Кроме того, зеленым растениям нужен свет, и, когда освещение падает до $^1/_{100}$ того, что они получают от Солнца на Землс, растения погибают. Это еще один довод против существования растений на внешних планетах.

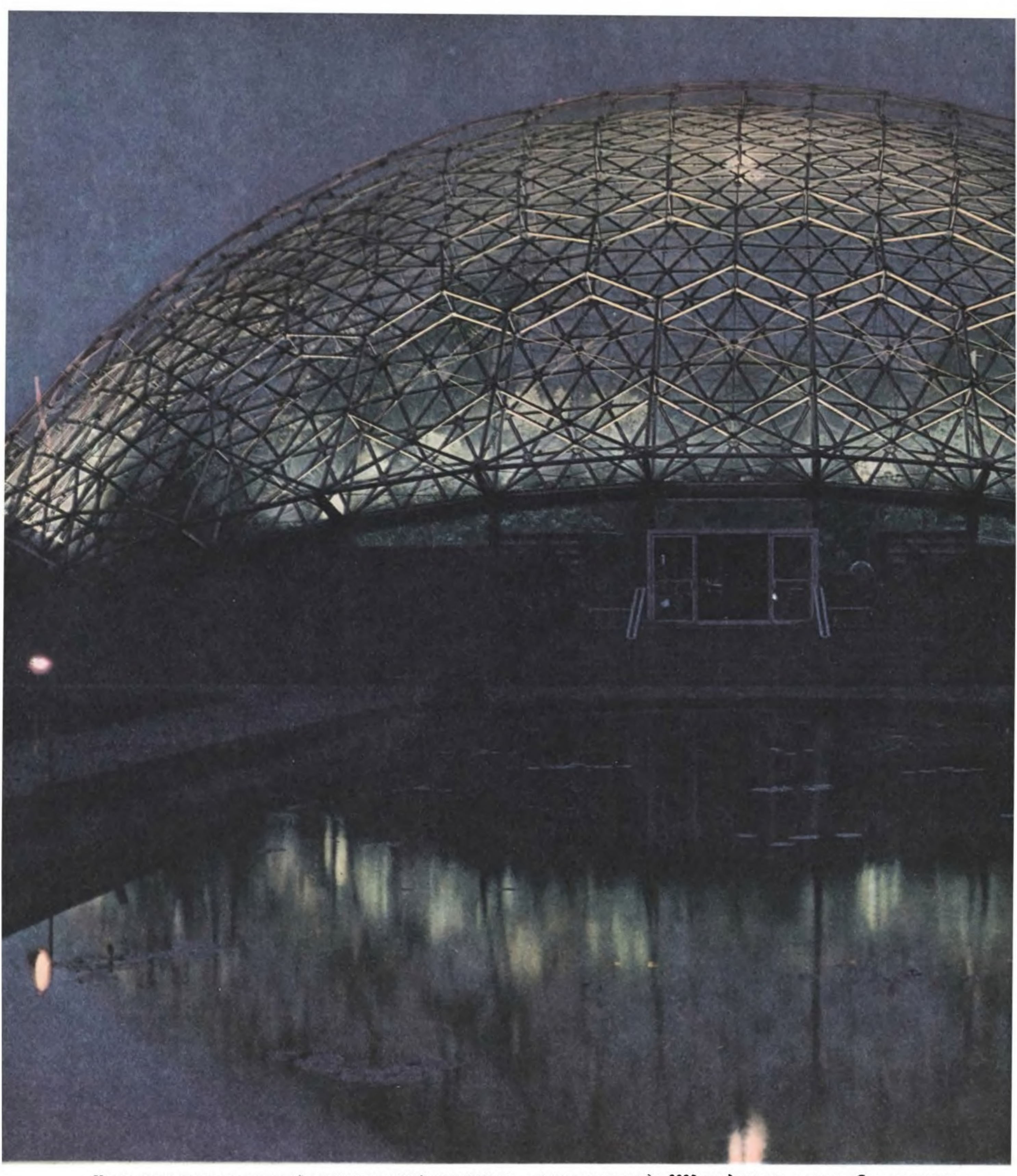
Гаким образом, очень мало надежд на то, что исследование «ближнего» космоса принесет нам какие-то новые сведения о растительности, похожей на нашу. Однако даже в биосфере Земли — в этом относительно ограниченном жизненном пространстве — еще многое можно узнать о растениях и их особенностях; вот об этом мы и поведем разговор в следующих главах.



Тропический пруд, окаймленный растениями из Америки, Африки и восточной Индии, отражает сотворенное человеком небо климатрона в Сент-Луисе.

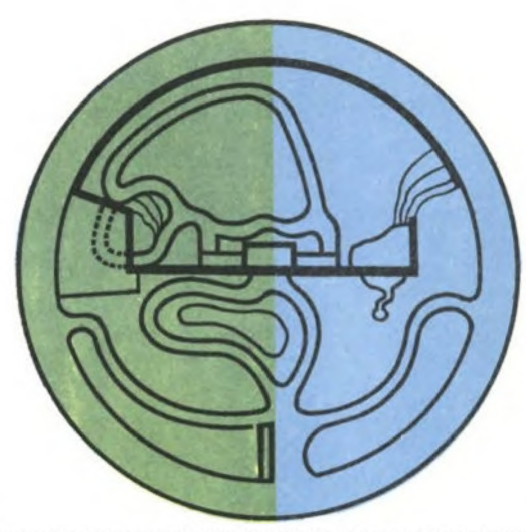
МИР ПОД СТЕКЛОМ

В отличие от большинства других живых организмов растения в буквальном смысле слова укореняются в окружающей их среде. Изъятые оттуда, они не могут изменить своих приспособлений к ней и, если попадают в климат, не похожий на климат родных мест, гибнут. Выращивая их в неволе — для исследований, ради удовольствия, для получения пищи или с иной целью, — человек имитирует природу многими остроумными способами, вплоть до создания нескольких климатических режимов под одной крышей.



Ночью климатрон с его зеленой растительностью, просвечивающей за темно-фиолетовыми прудами у главного входа в Ботанический сад, кажется парящим подобно какому-то неземному шару. Под его куполом (21 метр высотой) растения размещаются на площади 2000 квадратных метров. Самые высокие деревья, например бальса из южноамериканского дождевого леса, почти достигают вершины купола. Ночью там вращаются спаренные группы светильников: одна дает ослепительный сол-

нечный свет, а другая — бледный свет тропической луны. Эта театральная иллюминация нужна прежде всего для изучения роста растений при различных условиях освещения.



На плане климатрона показаны четыре основные климатические зоны. В темно-синей зоне, как в горах Явы, — прохладные дни и ночи и высокая влажность. Голубым цветом обозначен более сухой климат — как в Индии. Влажная жаркая зона дождевых лесов показана светло-зеленым, а темно-зеленый цвет означает прохладные дни и теплые ночи тихоокеанского побережья. Температура колеблется от 15 до 33° С в разных зонах.

Гармония света и местообитания

Задуманный и построенный автором настоящей книги климатрон Миссурийского ботанического сада в Сент-Луисе представляет собой реализацию давно лелеемой мечты ученых-ботаников — выращивать рядом в контролируемых условиях растения из различных местообитаний. Под крышей климатрона получили убежище более 1500 видов растений из тропических и субтропических областей с различными климатическими условиями — от влажной жары джунглей Амазонки и прохладного океанического климата Гавайских островов до засушливых тропиков Индии и горных моховых лесов Явы. Столь различные климатические режимы создаются двумя вентиляционными системами. Мощные вентиляторы, управляемые вычислительной машиной, всасывают или удаляют воздух в соответствии с внешними условиями погоды и суточным движением Солнца, тогда как насадки для мелкокапельного опрыскивания увеличивают влажность. Ночью климатрон освещается естественным лунным светом, а там, где это необходимо, — искусственным солнечным. Его конструкция привлекает многочисленных посетителей, но в первую очередь это исследовательская лаборатория и демонстрационный зал, дающий ученым возможность наблюдать экзотические растения в различных условиях тропического климата и проводить опыты, которые обычно требуют многомесячного пребывания в дальних странах.

Болото в джунглях климатрона, точно имитирующее климат бассейна Амазонки, имеет самые разнообразные оттенки зеленого цвета, весьма характерного для этой области. Пистия бархатистым ковром покрывает маленький пруд. Слева на переднем плане — крупный блестящий лист филодендрона, за ним — каскад метровых листьев дикого банана. В центре

на заднем плане — африканская драцена с острыми листьями, над нею свисают ветви фикуса. У самого края справа почти теряются в листве другого вида филодендрона небольшие листья гименеи, или бразильского копала. Это медленно растущее дерево со временем достигает огромных размеров; его дикие сверстники служат важным источником древесины.

Китайская роза излучает ярко-желтый и красный свет в «Гавайях» климатрона. Цветок этого азиатского гибискуса — разновидность обычного розово-красного цветка; кроме того, выведены белая, темно-желтая и многие другие формы. В зонах тропического и умеренного климата земного шара растет около 200 видов гибискуса.

На метр в глубь тропического пруда просматриваются силуэты кувшинок — стебли и молодые, еще свернутые листья на фоне тусклой зелени заросшей водорослями воды; солнечные лучи почти не попадают в воду, так как отражаются от поверхности плавающих листьев кувшинок. Посетители наблюдают водяные растения из туннеля, сделанного из плексигласа.

Корни тропического фикуса вьются среди листьев на поверхности почвы джунглей. Этот австралийский вид Ficus columnaris часто называют «баньяном», потому что он опускает воздушные корни с ветвей до земли, образуя таким образом своеобразные подпорки. Хотя это растение иногда существует как эпифит, здесь оно было посажено непосредственно в почву.

Глубоко вырезанные листья большого австралийского оленьего рога расходятся на 1,8—2,4 метра от гнезда бурых листьев, которыми растение удерживается на стволе хозяина. Они почти скрывают внизу другой эпифитный папоротник — мелколистный нефролепис.

Из пучков крупных листьев выглядывают ярко-розовые цветки дикого банана. Когда розовые прицветники опадают, становятся видны цветки. Плоды дикого банана почти непригодны в пищу, так как в них очень мало мякоти.

Эти бледные грибы, выполняющие роль лесных мусорщиков, растут на гнилом бревне. В процессе жизнедеятельности они разрушают его и освобождают питательные вещества, которыми пользуются крошечные зеленые печеночники для своего роста.

7

Растения вьющиеся, лазящие и хищные

Утверждение, что растения, как все живые существа, предпочитают жить в конкретных местах и даже иметь соседями конкретные растения, с которыми они благополучно сосуществуют, может показаться парадоксом. В конце концов, ни одно растение не может заранее выбрать место, где упадут и прорастут его семена. Семена, переносимые ветром, птицами, водой и млекопитающими, очевидно, распределяются по суше случайно. И однако нет никакого сомнения в том, что определенные растения растут только в определенных местах, будь то скала, за которую цепляются какие-нибудь лишайники, вершина дерева, к которой старательно прокладывают путь некоторые лианы, или даже растение-хозяин, которое обеспечивает своих паразитов или полупаразитов всем, в чем они нуждаются.

Нет никакого сомнения и в том, что растения живут в специфичных сообществах, имеющих строго определенные границы. Всем нам не раз приходилось видеть, как лес внезапно сменяется прерией или лугом. Опытные сборщики ягод знают, хотя и не задумываются над причинами этого, что ежевику нужно искать в живых изгородях или у опушки леса, а землянику — в других местах. Если мне для демонстрации на занятиях нужен венерин башмачок, я ищу его в совершенно особых местах в лесу.

Причина кажущейся разборчивости растений частично заключается в их специфических требованиях к свету, влаге, температуре и почвенным условиям. Но если бы их распределение зависело только от этих факторов, многие виды были бы гораздо более распространенными. Так, например, нетрудно заметить, что подлесок в сосновом лесу резко отличается от подлеска в лиственном, и если это различие проанализировать подробнее, то выявятся контуры определенных растительных сообществ. Каждое такое сообщество характеризуется только ему свойственным составом, который включает полдесятка

или более того видов, всегда растущих вместе, и небольшое число других сопутствующих видов. Границы между сообществами обычно резко очерчены, как мы это видели на примере леса и поля.

Причины, по которым растения растут в сообществах, выяснены лишь отчасти. Одним из интересных аспектов этой проблемы является определенное подавление некоторыми растениями роста и развития других растений — по-своему они антиобщественны. Одни из них просто вытесняют ближайших соседей, побеждая их в конкурентной борьбе за воду или питательные вещества в почве. Другие ведут своего рода химическую войну, выделяя вещества, которые оказывают тормозящее действие на рост соседей. Это отмечено у ряда растений пустыни, в частности у каучуконосной гваюлы в Мексике, которая выделяет из корней ядовитую для других растений коричную кислоту — поэтому гваюла растет совершенно изолированно. Точно так же орех черный распространяет в почве вокруг своих корней яд, заставляющий другие растения держаться поодаль от него.

Гораздо приятнее говорить о растениях, которые способствуют росту других растений. Хорошо известный тому пример — клевер: бактерии, заражающие его корни и вызывающие образование корневых клубеньков, фиксируют свободный азот воздуха, что приводит через ряд превращений к образованию легко доступных для зеленых растений нитратов, — в результате выигрывает не только клевер, но и все близрастущие растения. Именно поэтому семена клевера и иных представителей семейства бобовых часто высевают вместе с другими семенами, например на газонах или в новых садах, с целью обогащения почвы фиксированным азотом и восстановления таким образом ее плодородия.

Однако какой-нибудь дотошный студент может спросить: а как обстоит дело с ботаническими садами? Ведь там находятся тысячи различных растений из всех частей света и, следовательно, из самых разнообразных условий, и все они растут вместе без каких-либо видимых трудностей. Как же это возможно?

Конечно, эти растения растут вместе только потому, что за ними заботливо ухаживают люди. На очень небольшом пространстве искусственно создаются самые разнообразные условия — болота, леса, луга, пруды, — чего в природе не бывает; поэтому стоит людям, обеспечивающим уход за растениями, прекратить свою деятельность — и природа сразу же даст о себе знать. Появятся сорняки, начнется естественная конкуренция, и через несколько лет многие из интродуцированных растений полностью исчезнут. Практика ботанических садов доказывает, что растения можно заставить расти вне их естественного ареала, но она же делает ясным, что такой рост возможен только при регулировании конкуренции среди растений, и даже в этом случае чужеземные растения иногда далеко не преуспевают — растут медленнее, цветут менее обильно и дают мало жизнеспособных семян, а подчас и вообще их не образуют.

Логично предположить, что все растения естественного фитоценоза каким-то образом и в какой-то степени приносят пользу друг другу. Однако есть и такие сообщества, в которых выигрывает только один из его членов. Самым крайним случаем является истинный паразитизм, когда одно растение живет целиком за счет другого. Многие взаимосвязи растений относительно безвредны, но некоторые приводят иногда к гибели растения-хозяина.

К менее вредному типу партнеров в таких сообществах относятся вьющиеся растения — лианы и эпифиты, ошибочно называемые воздушными растениями; они пользуются другими растениями в качестве лестницы или опоры, чтобы получать достаточно света, поскольку растут они, как правило, среди высоких деревьев.

У лиан особенно интересны способы, которыми они ухитряются взобраться даже на самое высокое дерево. Один вид лиан поднимается, обвивая стеблями любую подходящую опору и с каждым следующим витком продвигаясь все выше. Этим способом взбираются фасоль и глициния. Огурцы, страстоцвет и горох пользуются усиками — видоизмененными стеблями или листовыми черешками, которые закручиваются вокруг любой опоры, как цепкие хвосты обезьян. Найдя опору, они плотно прижимаются к ней, обкручиваются вокруг нее и подтягивают растение вверх. Затем образуются новые усики и помогают растению подтянуться еще выше.

Довольно многие лианы взбираются вверх при помощи колючек, которые просто впиваются во все, что сулит поддержку. Таким образом взбираются розы и ротанговая пальма. У ротанговой пальмы — вьющейся пальмы с очень эластичными стеблями (что позволяет использовать их для плетения) — колючки растут на длинных хлыстовидных выростах листового черешка и отогнуты назад. Если такой хлыст не соединится ни с какой опорой, он свисает вниз на беду беспечному путнику, так как его острые колючки могут нанести глубокие раны.

Со временем дерево-опора может погибнуть, и тогда цепляющиеся за него лианы упадут вместе с ним. Однако благодаря своим очень гибким стеблям они обычно хорошо переносят падение и посылают вверх новые побеги уже по другим деревьям. Иногда недостаточно закрепившиеся на дереве лианы сползают вниз, и их перепутанные

и изогнутые стебли создают основное препятствие движению в тропических джунглях.

Лианы, как непослушный баловень, — постоянный источник неприятностей для работников тропического ботанического сада. Поскольку они являются интересным компонентом леса, их высаживают в сад, как только его деревья достигнут достаточного размера, а затем с гордостью этикетируют. Первые пять, а то и десять лет листья и цветки лиан остаются еще сравнительно близко к этикетке, но спустя годы могут оказаться за десятки метров от нее, когда стебель лианы протянется от дерева к дереву, то взбираясь на их вершины, то сползая вниз, чтобы начать взбираться снова.

Эпифиты, вторая группа растений, обитающих на деревьях, вообще никуда не взбираются. Их семена прорастают высоко наверху, и они живут там не как паразиты, а только чтобы получить освещенное солнцем место. Большинство эпифитов встречается во влажных тропиках. Загущенность, трудная проходимость тропических дождевых лесов в основном и создаются мхами, папоротниками, орхидеями и другими эпифитными растениями, которые растут на стволах и ветвях деревьев.

Хотя на первый взгляд маленькому тропическому растению легко ускользнуть от густой тени глубины леса, использовав для этого ветвь какого-нибудь высокого дерева, но и у эпифитов есть свои проблемы. Например, лишь очень немногие из них образуют достаточно длинные корни, чтобы они могли достичь почвы; остальные должны удовлетворяться теми скудными количествами воды и питательных веществ, которые можно найти высоко на деревьях. Что же касается распространения семян эпифитов, то в некоторых случаях ему способствуют птицы, поедая образованные растением ягоды и оставляя на ветвях деревьев непереваренные семена. Но большинство эпифитов имеет либо очень легкие споры, например мхи и папоротники, либо очень легкие семена, как у орхидей и бромелиевых, и они распространяются ветром. Отдельная семенная коробочка орхидеи может содержать до трех миллионов семян — обстоятельство, которое дает по меньшей мере некоторым из них шанс застрять на ветвях дерева.

Как только семена прорастут, перед растением-эпифитом встает проблема дальнейшего существования и обеспечения пищей. Поэтому не удивительно, что у них много приспособлений для такого специфичного и необеспеченного образа жизни. Многие эпифиты — суккуленты с внутренними водными резервуарами, роль которых выполняют особые органы и ткани, запасающие воду, вроде вздутого стебля, или ложнолуковицы, орхидей и толстых листьев пеперомии. Другие образовали наружные водные резервуары. Так, у бромелиевых, родственников ананаса, основания листьев расширены и действуют как чаши для перехвата и хранения дождевой воды. Эти водные резервуары настолько эффективны, что ими стали пользоваться и другие растения и животные. Например, некоторых тропических американских водных насекомых можно найти исключительно в крупных чашах бромелиевых. Эти чаши служат также излюбленными местами размножения комаров. (Во время постройки Панамского канала одним из важнейших мероприятий в борьбе с малярией было уничтожение всех бромелиевых вблизи строительных площадок.)

Пожалуй, наиболее своеобразно подобное приспособление у дисхидии *(Dischidia rafflesiana)* — эпифита с длинными сдвоенными стеблями, ненадежно прикрепленными к ветвям скудными корнями. Наряду со своими обычными листьями это растение образует также крупные листовые кувшинчики, при помощи которых оно получает и воду и питательные вещества. Каждый кувшин имеет отверстие в месте прикрепления к стеблю, и в это отверстие растение посылает корень, который разветвляется внутри. Некоторые из таких продолговатых кувшинчиков свисают вниз и собирают дождевую воду, другие же, повернутые вверх, остаются сухими и становятся убежищем для муравьев, которые устраивают в них свои гнезда. Отходы муравейника служат идеальным источником пищи, и таким образом растение получает и питательные вещества и воду*.

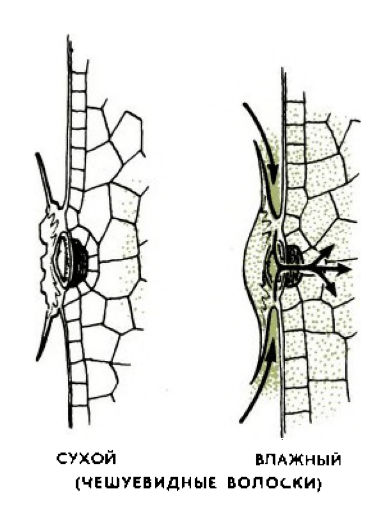
Ряд других эпифитов накапливают гумус в своих воздушных жилищах. Один из них — папоротник кочедыжник, птичье гнездо, — образует розетку очень крупных листьев, по форме и функциям сходную с корзиной. Меньшие по размеру листья, расположенные выше этой корзины, при опадении собираются в ней и со временем образуют такую массу гумуса, что в ней даже поселяются дождевые черви. На Яве, например, встретить в корзинах этого папоротника шестидесятисантиметровых червей — совсем не редкость.

Более усложненный вариант гумусной корзины образует папоротник олений рог *(Platycerium)*. Эти папоротники живут как эпифиты, прикрепившись к стволам и крупным вертикальным ветвям. Они образуют листья двух типов: одни — широкие, вертикальные, с основанием, прижатым к стволу, и далеко отходящим краем, и другие — более узкие, зеленые от хлорофилла и направлен-

---

* Это редчайшее растение имеется в коллекции Главного ботанического сада АН СССР. Оно было найдено в Индии во время работы индийско-советской ботанической экспедиции.

ИСПАНСКИЙ МОХ И ЧАСТЬ ЕГО ПОБЕГА



СУХОЙ ВЛАЖНЫЙ
(ЧЕШУЕВИДНЫЕ ВОЛОСКИ)

ИСПЫТЫВАЮЩИЙ ЖАЖДУ ЭПИФИТ

Лишенные корней бороды испанского мха имеют особые органы, которые служат для поглощения дождевой воды. Это мельчайшие, похожие на крылья, чешуевидные волоски, покрывающие гибкие побеги (вверху) эпифита. Когда нет дождя, сухие заполненные воздухом клетки позади чешуй съеживаются. Во время дождя вода попадает под волоски чешуек (показано стрелками) и отсюда медленно просачивается в стебель растения; вместе с водой в растение попадают и минеральные вещества, смытые с растения-хозяина.

ные в сторону от ветвей растения-хозяина. Широкие листья скоро отмирают и служат в качестве корзины для сбора гумуса, а узкие зеленые листья фотосинтезируют и образуют споры для размножения.

Одним из наиболее интересных эпифитов является так называемый испанский бородатый мох (название совершенно неподходящее, поскольку он и не испанский и не мох вовсе, а бромелиевое растение). Его фестоны украшают деревья тропической и субтропической Америки. Он не может похвастаться только что описанными приспособлениями других эпифитов: у него нет корней и водозапасающих тканей, он не собирает гумуса. Больше всего он похож на изношенный серый ковер, брошенный гнить на ветвях дерева-хозяина. Однако именно испанский бородатый мох (*Tillandsia usneoides*) покрывает больше деревьев, чем любой другой эпифит. Воду он получает от дождей. Его стебель и листья имеют плотно прижатые чешуевидные волоски, которые всасывают всю воду, попадающую под них. Затем вода сквозь клетки, защищенные волосками, проникает в растение. Это создает идеальное клапанное устройство: внутрь жидкость проникает, а из растения она не может даже испариться.

У этого устройства имеется еще одно преимущество. Первые дождевые капли, попадающие на испанский мох с верхних ветвей, богаты минеральными солями, вымытыми из мертвых клеток растения-хозяина; они-то и снабжают эпифит питательными веществами в концентрированном виде. А к тому времени, когда дождевая вода вымоет соли и станет чистой, растение уже полностью насыщается водой и больше не всасывает ее. Это и объясняет, почему испанский мох предпочитает расти на старых деревьях, где больше мертвых или отмирающих ветвей и клеток. Существующее мнение, что он убивает ветви, на которых растет, неверно; наоборот, он разрастается только в том случае, если у дерева-хозяина уже много отмерших клеток.

Корни некоторых эпифитных орхидей имеют характерную только для них особенность: их наружные клетки пусты и наполнены воздухом. Пока корни сухие, они выглядят толстыми и серовато-белыми; дождевая вода впитывается ими так же быстро и основательно, как если бы они были промокательной бумагой. Как только корни получат воду, они становятся зелеными. Причина этого странного изменения окраски заключается в том, что, когда дождевая вода замещает воздух в наружном слое клеток корня, они делаются прозрачными, и становятся видны расположенные под ними хлорофиллоносные клетки. Как и испанский мох, эти орхидеи получают пи-

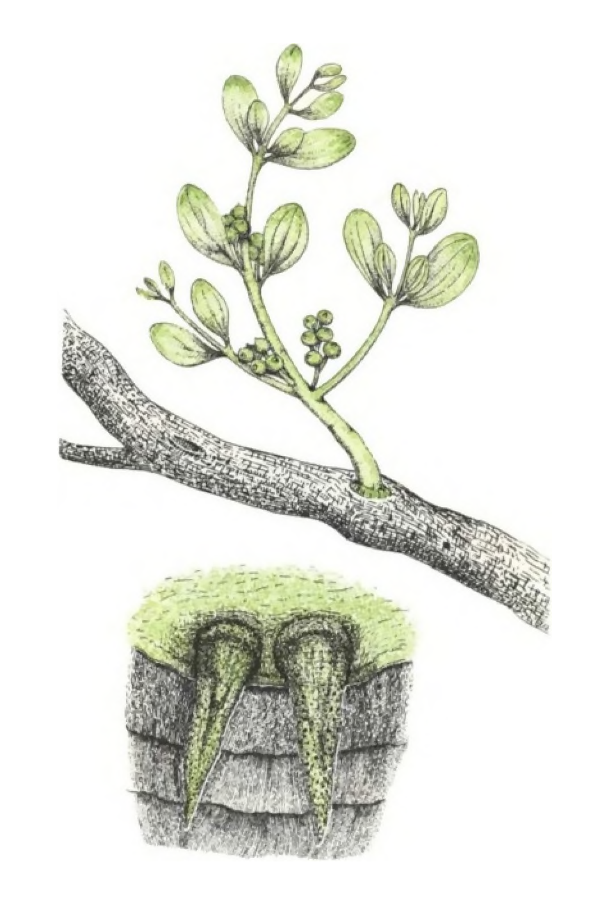
тательные вещества с дождем, который смывает их с расположенных выше ветвей.

В отличие от лиан и эпифитов, которые пользуются услугами растений-хозяев только в поисках солнечного света, паразитические растения живут за счет других растений и, таким образом, являются аналогами многих паразитов, обнаруживаемых у животных, таких, как, скажем, возбудитель малярии или ленточный червь. Степеней и форм паразитизма растений много — от, казалось бы, совершенно невинных очанки и кастилеи до гигантской раффлезии и смертоносной повилики, которые полностью живут за счет своих хозяев. Некоторых из полупаразитов никогда нельзя было бы заподозрить в паразитизме — их хищничество осуществляется под землей, где они своими корнями присоединяются к корням соседних растений и черпают из них, по-видимому, небольшие количества пищи. Так ведет себя кастилея, хотя, обладая зелеными листьями и корнями, она вполне могла бы обеспечить себя и сама.

С другой стороны, существуют такие паразиты древесных растений, которые, казалось бы, живут как эпифиты. К их числу относится омела, распространенная в основном в умеренной и тропической областях, где она поселяется исключительно на ветвях деревьев и кустарников. Омела не имеет настоящих корней и проникает в сосудистую систему своих хозяев корневидными выростами, чтобы там перехватить воду, которую она не может получить иным путем. Виды, растущие в умеренной зоне, лишь очень незначительно или совсем не повреждают своих хозяев, но в тропиках дело обстоит иначе. Там потребление воды омелами часто настолько велико, что растение-хозяин погибает.

Одно тропическое дерево, однако, имеет средство защиты от омелы. Это колючая разновидность хлопкового дерева (*Ceiba pentandra*); сейба с гладкими ветвями особенно сильно поражается омелой. Конечно, колючки не могут отогнать омелу, но зато они отпугивают птиц — разносчиков ее семян. Птицы очень любят ягоды омелы, ее семена проходят через их пищеварительную систему неповрежденными и попадают с экскрементами на деревья. Ягоды большинства омел содержат всего одно семя, оно покрыто липким клеем, благодаря чему может прикрепиться не только к любой ветви, но и к перьям птиц. Птицы отделываются от этих семян, когда чистят перья о кору деревьев, избегая при этом колючей сейбы.

Но есть среди цветковых растений и абсолютные паразиты, у которых нет ни хлорофилла, ни настоящих корней. Длинные, гибкие, вьющиеся стебли некоторых из них, например повилики, обвивают хозяина и внедряются в его стебель, при этом они образуют плотное сплетение вокруг



ДРЕВЕСНЫЙ ПАРАЗИТ

Хотя омела и паразит, но она имеет хлорофилл и способна к фотосинтезу, правда в ограниченном масштабе. Таким образом по крайней мере некоторую часть требующейся пищи растение добывает самостоятельно. Однако, что касается воды и минеральных солей, то оно полностью зависит от дерева-хозяина. Чтобы получать эти вещества, омела образует корневидные выросты, которые развиваются вдоль ее стебля там, где он соприкасается с деревом. Их называют гаусториями (от латинского слова haustor — пьющий). На нижнем рисунке две гаустории омелы внедряются во внешние слои коры ветви дерева.

РАЗНООБРАЗИЕ ГАЛЛОВ

На всех растениях почти на любой их части — от корней до листьев — могут образовываться странные выросты, называемые галлами. Эти шишки и бородавки, следствие аномального роста, бывают обычно пяти видов, и причины образования каждого из них различны.

Галлы в виде сосочков образует насекомое, называемое листоблошкой каркасовой. В отличие от многих других эти галлы имеют одинаковые форму и размеры — их диаметр всегда 4 миллиметра.

пораженного растения, часто буквально иссушая его. Сильно отличаются от повилики виды заразихи, паразитирующие на клевере, люцерне и других сельскохозяйственных культурах. Когда их миниатюрные семена оказываются рядом с корнями растения-хозяина, они прорастают, внедряются в эти корни и высасывают питательные вещества и воду, заботливо добываемые их хозяином. Молодые растения заразихи растут быстро, вытягиваясь над поверхностью почвы в виде жирных соцветий высотой 7,5—20 сантиметров. Им не нужно экономить на строительном материале, он поступает бесплатно, и в то время как заразиха процветает, клеверное растение-хозяин истощается. Поражение посевов клевера или люцерны заразихой — это серьезная угроза урожаям сельскохозяйственных культур.

Наиболее интересное семейство паразитических растений образуют тропические виды. Это раффлезиевые, названные так по самому крупному цветку на земном шаре — раффлезии. В странах Юго-Восточной Азии, на полуострове Малакка, на островах Суматра, Ява, Борнео некоторые виды этого рода паразитируют только на одной лиане — *Tetrastigma.*

Раффлезии встречаются редко, их очень трудно разыскать — это я могу подтвердить на основании собственного опыта. Много лет назад, в 1929 году, когда я был на Яве, я услышал, что раффлезии можно найти на острове Камбанган (буквально — остров цветов). Мне удалось проникнуть на этот остров — там в это время находилась каторжная колония для уголовных преступников — и углубиться в джунгли. Искать мне помогали осужденный убийца и человек, отбывавший срок за каннибализм. Эти люди провели меня в глубь джунглей, прорубая дорогу тяжелыми мачете. Раффлезию мы нашли на полянке между деревьями: большой буро-красный цветок, диаметром почти 60 сантиметров, был распростерт на земле. В нескольких метрах от него виднелся большой коричневый шар, похожий на кочан капусты. Это была цветочная почка другой раффлезии, которая должна была раскрыться через несколько дней. Открытый цветок был похож на кусок гниющего мяса, имел такой же запах и был покрыт сотнями ползающих по нему мух, которые переносили пыльцу на рыльце и оплодотворяли растение.

Наиболее развит паразитизм в растительном мире у грибов: среди них имеются тысячи паразитических видов, тогда как среди цветковых растений их лишь несколько сотен. Паразитические грибы являются причиной некоторых наиболее губительных болезней растений. Так, «картофельный голод» в Ирландии в конце 40-х годов прошлого столетия был вызван *Phytophthora in-*

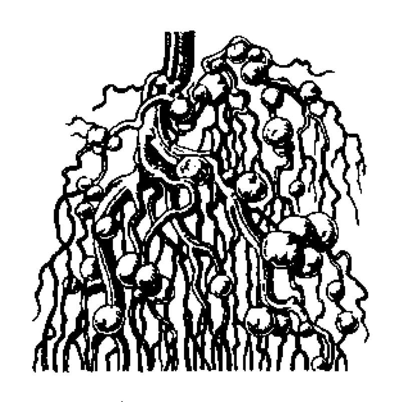
festans, три года подряд поражавшей поля картофеля. Более миллиона ирландцев умерло, сотни тысяч их эмигрировали в США. Другая грибная болезнь, стеблевая ржавчина пшеницы, в некоторых районах была постоянной угрозой урожаям пшеницы. Не было никаких эффективных мер защиты, пока наконец не установили, что источником заражения является особая репродуктивная стадия гриба, появлявшаяся после того, как гриб проходил стадию полового размножения на втором растении-хозяине — барбарисе. Только уничтожение барбариса дало первые положительные результаты в борьбе против ржавчины в умеренных широтах, но она все еще остается одной из серьезных проблем в сельском хозяйстве.

Грибные болезни в большинстве случаев легко распознаются, потому что либо сами споры, либо нитевидные гифы на определенной стадии становятся заметными на пораженном растении. Ложная мучнистая роса на розах, например, появляется в виде белесой паутины на листьях. Ржавчинные болезни выявляются, когда желтые, оранжевые или черные споры плотной массой покрывают листья или стебли зараженных растений. Ряд грибов, разрушающих древесину, дают о себе знать, когда их мицелий образует шляпочные, спороносные формы.

Болезни растений, например увядание картофеля и табака, могут вызывать и бактерии, но нужен сильный микроскоп, чтобы обнаружить этих крошечных паразитов. Другая группа болезней растений, и среди них мозаика табака, от которой листья становятся пятнистыми и непригодными к употреблению, вызывается вирусами — организмами настолько мелкими, что их можно наблюдать только в электронном микроскопе.

Едва ли менее разнообразны и распространены взаимосвязи растений с животными, особенно с насекомыми; многие из этих связей очень важны и интересны. Именно насекомые с общественной организацией высшего порядка — пчелы и муравьи — создали теснейшие связи с растениями. Пчелы — великолепные опылители. Многие муравьи случайно или намеренно выращивают растения; пожалуй, наиболее известны муравьи-листоеды, выращивающие особый гриб на мульче из листьев, собранных в подземные камеры. Муравьи-землепашцы собирают семена, которые они хранят в своих гнездах, и часто забираются на растения в поисках этих семян. В тропиках встречаются такие виды муравьев, которые культивируют на ветвях деревьев «муравьиные сады» — гнезда муравьев, заросшие эпифитами. У этих эпифитов маслянистые плоды, которые собираются и поедаются муравьями. Семена прорастают в гнезде, и корни эпифитов помогают закрепить гнездо. Так муравьи обеспечивают себя

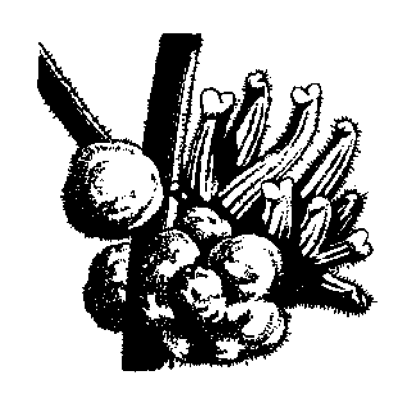
Вызываемый грибом черный рак ветвей разрастается на ветвях вишен и черешен. За время своего двухлетнего развития это бархатистое образование постепенно становится черным, твердым и хрупким и к моменту своего созревания достигает 60 сантиметров в длину.



Некоторые галлы, вроде тех, что покрывают корни клевера, вызываются вирусами. В отличие от галлов, образованных насекомыми, галлы вирусного происхождения могут иметь у разных растений различные размеры и численность.

пищей и прочным убежищем, тогда как растения не только распространяются, но и снабжаются гумусом и питательными веществами.

Гораздо более странная ассоциация встречается у некоторых тропических растений, образовавших органы, специально приспособленные для удобства муравьиных колоний. Так, например, в полых стеблях цекропии и триплялиса обитают муравьи. И это не случайно, так как на этих стеблях имеются места с более тонкими стенками, которые муравьи могут пробуравить, чтобы получить доступ в полость. У некоторых цекропий образуются даже небольшие выросты (мюллеровы тельца) у оснований листовых черешков, обеспечивающие пищу для муравьев. Еще более удивителен мексиканский кустарник *Acacia cornigera*. У основания его перистых листьев есть крупные полые колючки, в которых поселяются муравьи, а у конца каждого листочка имеется особое белое зубовидное тельце, наполненное жиром и белком для питания муравьев; таким образом, муравьи обеспечены и убежищем и пищей. Эти взаимосвязи настолько необычны, что получили даже особое название: мирмекофилия, или «любовь» растений к муравьям.



«Генетические» галлы образуются без участия внешних факторов. Они возникают исключительно как проявление природных особенностей табака. Регулируемые генами, эти опухоли передаются по наследству.

Преимущества этих образований для муравьев очевидны, гораздо менее ясно, что получают растения от муравьев. Поскольку многие из этих мирмекофильных растений впервые были обнаружены в местах, заселенных муравьями-листоедами, высказывалось предположение, что разгадка заключается в защите растений: растения привлекают к себе безвредный для них вид, с тем чтобы держать другой, вредный, вид подальше. Однако оказалось, что это не так: во время набегов муравьев-листоедов «свои» муравьи спешили в убежище. На мой взгляд, ответ кроется в том, что «свои» муравьи снабжают хозяина собственными экскрементами и растительными остатками, а уж тот использует этот материал в пищу, чтобы выживать в местах, где не хватает питательных веществ.

Одна из наиболее необычных взаимосвязей между растениями и животными наблюдается в галлах, совершенно удивительных уродливых образованиях, часто размером с мячик для пинг-понга, которые образуются на листьях или ветвях. Если, например, орехотворка срежет верхушку почки дуба и отложит яйца на срезанную поверхность, то клетки дуба начинают расти вокруг яиц, создавая в итоге сложное образование, совершенно не похожее ни на какую иную часть дуба.

Стимул для этого необычного образования, по-видимому, обеспечивается личинкой, которая выделяет ростовые вещества, заставляющие клетки растения чрезмерно разрастаться. Разные виды галлообразующих насекомых стимулируют рост

совершенно различных образований, так что можно думать, что каждый вид выделяет свой особый набор ростовых веществ. Полностью развившиеся личинки должны проложить себе путь из галла, чтобы окуклиться у его поверхности. Но у некоторых галлов наружные ткани слишком тверды, чтобы личинка могла пробуравиться; в этом случае в галле образуется пробка, которая в нужное время отваливается и освобождает личинку. Есть и такие галлы, внутри которых растет гриб, оставляемый там насекомым при откладке яиц для питания будущих личинок.

Многие из неискушенных читателей будут искать в книге о растениях захватывающий рассказ о дереве-людоеде с Мадагаскара или о других не менее страшных растениях. Но самое большое животное, которое я когда-либо видел пойманным растением, был таракан, утонувший в саррацении, — случай, по-видимому, столь же трагический и для саррацении, потому что она тоже погибла. Фактически нет растений, которые нападали бы на крупных животных, и если человек или животное запутывается в растениях в джунглях, то это происходит не по вине растения, а из-за беспечности незваного гостя.

Корончатые галлы, вызываемые бактериями, чаще всего появляются на срезанных или поврежденных поверхностях растения. Бактерия вызывает избыточное образование гормона роста, а это в свою очередь стимулирует рост галла.

Одна из первых классических работ о хищных, или насекомоядных, растениях была опубликована Чарлзом Дарвином. Он отмечал, что растения росянки, имеющие липкие щупальца на своих крошечных листьях, ловят столь же крошечных насекомых (как липкая бумага ловит мух), удерживая их, пока соседние щупальца не согнутся, чтобы прижать жертву к листу, где ее тело будет разлагаться ферментами. Дарвин установил, что лист росянки с равным успехом переваривает любой маленький кусочек мяса или яичного белка.

Растений, у которых развились приспособления, позволяющие отнести их к насекомоядным, немало. Большинство их, как и росянку, можно встретить в бедных питательными веществами болотах. Очень сходна с росянкой, но менее сложна жирянка; она тоже ловит насекомых своими клейкими выделениями листовых желез и затем свертывает лист, закатывая в него жертву. Саррацения встречается в США повсеместно от Северной Каролины до Флориды и Миссисипи. Ее странные, похожие на урну листья содержат немного водянистой жидкости у основания. Внутри ее листа почти всегда можно найти несколько насекомых — муравьев или совок, пойманных благодаря тому, что направленные вниз волоски не дают жертве выбраться. Постоянно присутствующие в водянистой жидкости бактерии разлагают жертву, а ферменты переваривают ее.

Еще более сложный ловчий механизм имеется у группы тропических азиатских лиан *Nepenthes*,

чьи красиво изогнутые кувшинчики висят на длинных черешках листьев, обвивающихся вокруг ветвей, как вокруг опоры. Сначала насекомых привлекает сильный запах — у входа в ловушку расположены железы, выделяющие нектар. Чтобы добраться до нектара, насекомым приходится взбираться по краю листа, что обычно кончается падением в жидкость на дне кувшинчика. При попытке выкарабкаться им приходится миновать сначала зону переваривающих желез, затем хорошо отполированную скользкую зону. Большинство из них никогда не выбирается дальше этих зон, но даже если им это удается, они наталкиваются на нависающий зубчатый край ловушки.

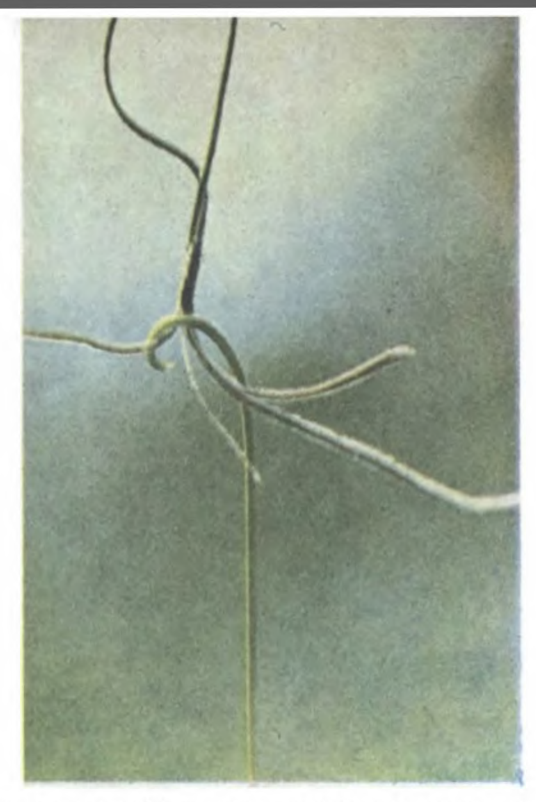
К наиболее известным насекомоядным растениям относится венерина мухоловка из Северной Каролины, родственная росянке, но с совершенно иным способом поимки добычи. На поверхности почвы лежит розетка листьев, в которой каждая листовая пластинка размером с двухкопеечную монету выглядит и действует как стальной капкан — складывается посередине. Когда насекомое движется по поверхности листа, он внезапно складывается и зазубренные концы его половинок заходят друг за друга. Венерина мухоловка благодаря трем чувствительным щетинкам на каждой половинке листа способна различать живые и мертвые предметы — мелкие палочки или галька не вызывают никакой реакции. Лист не складывается, пока не будут тронуты поочередно два волоска или один и тот же волосок дважды. После того как ловушка захлопнется, она сжимается все сильнее и сильнее, прижимая добычу к переваривающим железам на поверхности листа.

Но первый приз за сложность ловчего аппарата, бесспорно, принадлежит пузырчатке — водному растению с красивыми голубыми или желтыми цветками, растущему в прудах и канавах. На его подводных нитевидных стеблях сидят бесчисленные пузырьки — в них-то и попадаются крошечные водные существа. На одном конце пузырька имеется входное отверстие с дверцей, которая быстро открывается, если коснуться ее чувствительных волосков снаружи. Жертва всасывается внутрь так быстро, что за этим нельзя проследить ни глазом, ни с помощью кинокамеры. Дверца закрывается, часть воды выбрасывается наружу — и ловушка готова для следующей жертвы.

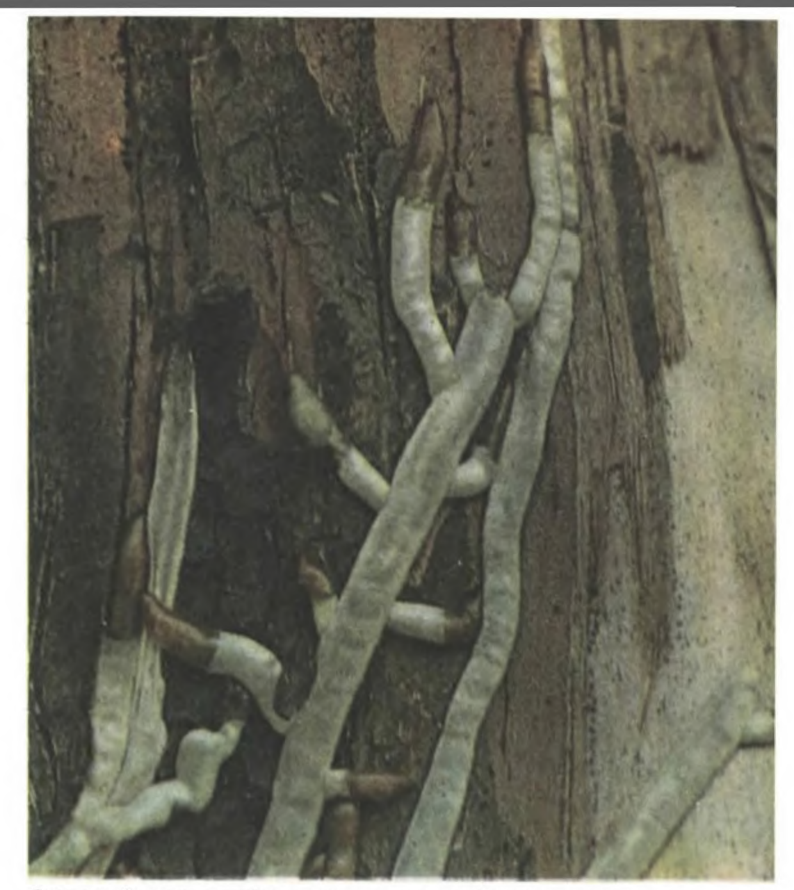
Толстая покровная ткань и обилие колючек уменьшают потери воды у кактусов Cephalocereus senilis и Echinocactus grusonii и защищают их от животных.

ПАРТНЕРЫ И ПАРАЗИТЫ

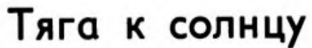
Хотя большинство растений считаются независимыми, потому что они добывают себе пищу путем фотосинтеза, успешное существование многих из них фактически все-таки зависит от их взаимосвязей с другими живыми формами, как растительными, так и животными. Эти связи могут быть нерегулярными, даже случайными, а могут быть и настолько тесными, что смерть одного из партнеров обрекает на гибель и другого.



Испанский мох поддерживает зеленый усик сарсапарили.



Эта эпифитная орхидея прикрепляется к дереву с помощью клеток корней, врастающих в трещины коры. Губчатая белая ткань корней поглощает и сохраняет воду.



Тяга к солнцу

Чтобы выбраться к свету, необходимому для поддержания жизни в тенистых лесах, лианы и эпифиты, каждый своим особым способом, используют в качестве опоры более сильные растения. Так, лианы поднимаются с почвы, в которой они укоренились, вверх по деревьям, служащим им подмостками, самым различным образом: они могут виться, взбираться или цепляться, и в этом им помогают либо усики, либо колючки, либо присасывающиеся корни.

У наиболее известных лиан умеренной зоны — жимолости и плюща — тонкие стебли. Однако во влажных тропиках, в зоне наиболее благоприятной для пышного роста растений, лианы имеют стебли толщиной в руку. Лианы не паразиты, так как они получают пищу и воду из почвы, а проводящие трубки в их гибких одревесневших стеблях достигают у некоторых вьющихся ротанговых пальм 195 метров. Пробившись к освещенному солнцем верхнему краю полога леса, они образуют листья и цветки, которые обычно невидны с земли, с уровня затененной лесной подстилки, где лишь переплетение стеблей указывает на активную жизнь высоко вверху.

Лианы обвивают ствол 22-метрового ликвидамбара во флоридском лесу. Их извилистые стебли создают буквально непроходимое переплетение.

Горизонтальные корни этой 16-летней лианы, обвивая ствол дуба, поддерживают ее толстый стебель (справа), а вертикальные корни достигают поверхности почвы и обеспечивают ей питание.

Листья этого бромелиевого растения поглощают воду по всей своей длине. Они набирают ее во время дождя и запасают в мясистых основаниях, чтобы пользоваться ею в засушливые периоды.

Необычный образ жизни

Особая проблема эпифитов, которые в своем стремление добраться до солнечного света отказались от всяких связей с почвой, заключается в том, чтобы обеспечить себя питательными веществами и водой. Не имея корней в почве, они вынуждены были создать необычные приспособления, чтобы использовать каждую крошку гумуса и каждую каплю воды. Это и толстокожие, суккулентные листья, которые удерживают воду для бромелиевых, и воздушные корни ароидных растений, которые иногда свешиваются вниз на 18 метров, чтобы черпать воду из потока. К менее эффектным, но более знакомым нам эпифитам относятся некоторые лишайники, мхи, печеночники, папоротники и даже кое-какие кактусы.

Разлагающиеся растительные остатки накапливаются на горизонтальных ветвях хлопкового дерева и образуют там плодородную почву для эпифитов, которые и растут поэтому в уголках и щелях, а не на гладком стволе.

Гумус, образовавшийся в трещинах коры, содержит воду и питательные вещества для редких «голубых» орхидей бассейна Амазонки. Удерживают растение на такой большой высоте корни, вросшие в кору дерева-хозяина.

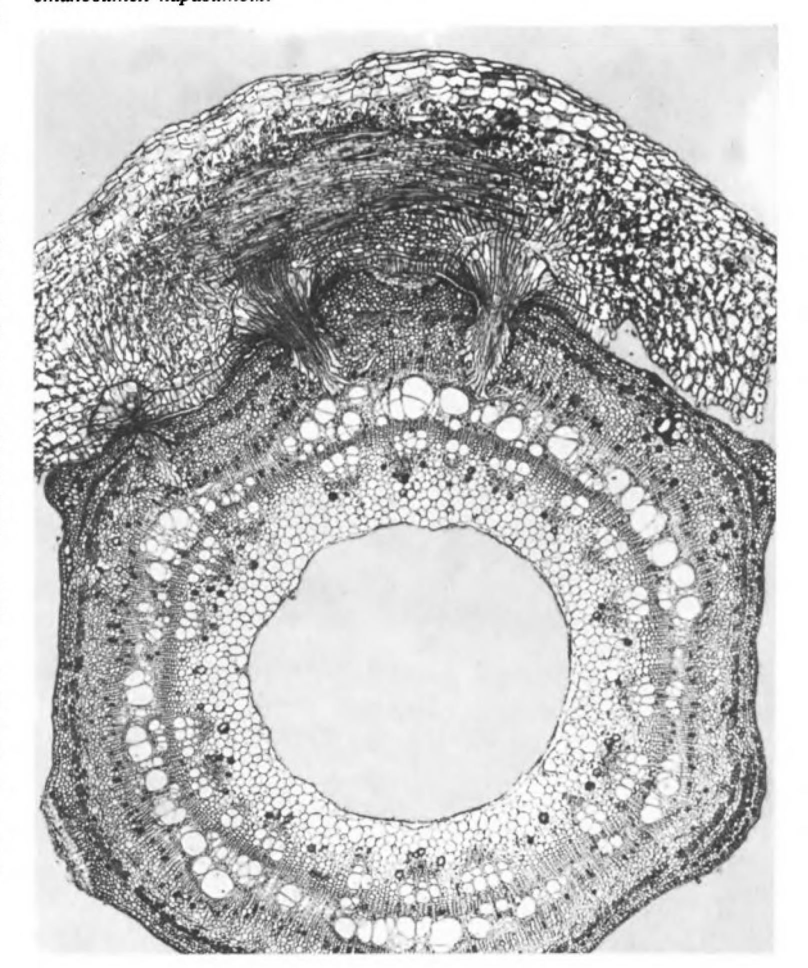
Это ароидное растение живет так высоко в дождевом лесу только благодаря своим воздушным корням, их большая поверхность по отношению к размерам самого растения позволяет им очень быстро поглощать воду в период кратковременных дождей.

Уже через 12 часов после появления из семени проросток повилики тянется своим похожим на усик стеблем (слева) к зеленому растению-хозяину. Днем позже (центр) стебель повилики уже прочно обвился вокруг своей жертвы. Через неделю (справа), образовав корневидные выросты, внедряющиеся в растение-хозяина, повилика полностью обрывает свои связи с почвой и становится паразитом.

Смертоносные иждивенцы

Растения, которые содержат мало хлорофилла или совсем лишены его — примерно 10% всех видов на земном шаре, — не могут сами производить пищу для себя и должны получать ее каким-то иным путем. Один из таких путей используется сапрофитами — как правило, бактериями и грибами, — которые питаются за счет мертвых или разлагающихся организмов. Представитель немногих цветущих сапрофитов, вертляница, получает всю органическую пищу и минеральные вещества благодаря взаимовыгодной связи с грибами, растущими под землей. Гифы грибов окружают корни вертляницы и снабжают их питательными веществами, извлекаемыми ими из лесной подстилки.

В противоположность сапрофитам многие паразитические растения питаются только за счет живых организмов, получая всю пищу или бóльшую ее часть и воду от зеленых растений. Например, повилика, лишенная настоящих листьев и корней, обвивается своими гибкими нитями вокруг хозяина и обеспечивает себя пищей. Но и у смертоносной повилики есть свои собственные враги — она страдает по крайней мере от двух видов тлей. Так протягивается цепь питания — есть и быть съеденным — от мира растений до мира животных.



Прозрачные вертляницы хорошо растут среди разлагающихся листьев; широко распространенные в умеренной зоне, они предпочитают затененные места. К фотосинтезу они не способны, поскольку не имеют хлорофилла.

На поперечном срезе стебля растения-хозяина под микроскопом видны внедрившиеся в него гаустории повилики. Этими выростами повилика вскрывает проводящие сосуды растения-хозяина, чтобы извлекать питательные вещества.

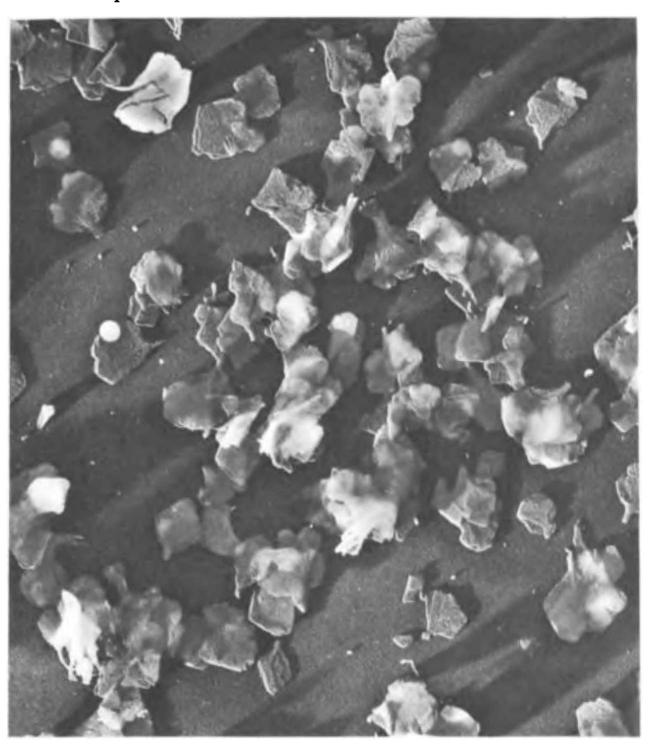
Растения-хищники

Есть растения, которые поменялись ролями с животными — сами поедают животных. Размеры приспособлений, которыми такие растения ловят живую добычу, колеблются от микроскопических силков, образуемых некоторыми грибами, до кувшинов емкостью в несколько литров у растений, живущих на Борнео. Насекомоядные растения, обычные обитатели бедных азотом болот, могли бы существовать и без добычи, но, по-видимому, их жертвы им необходимы, так как обеспечивают азотную добавку к питательным веществам, которые эти растения получают обычным путем.

Большинство ловушек, используемых растениями-хищниками, представляет собой видоизмененные листья. Эти видоизменения в основном бывают трех типов. Одни напоминают стальной капкан и сжимают жертву между половинками листа, другие запутывают добычу в клейких выделениях. Третий тип — это показанный здесь кувшинчик, который заманивает насекомых, и они гибнут в жидкости на его дне. Менее хорошо известны грибы, которые ловят обитающих в почве нематод, пользуясь клейкими утолщениями на концах своих коротких выростов или специальными петлями, состоящими из трех клеток. Поскольку нематоды ежегодно наносят ущерб сельскохозяйственным культурам на четыреста тысяч фунтов стерлингов, тщательно изучается возможность использования таких грибов в борьбе с этими вредителями.

Нектар на краях кувшинчиков саррацении привлекает насекомых, а жесткие направленные книзу волоски и скользкие стенки успешно удерживают попавшую внутрь кувшинчика жертву.

Так выглядит под электронным микроскопом поверхность внутренней стенки кувшинчика между его краем и жидкостью на дне — восковая основа покрыта слоем различных по форме чешуек.



Скользкие чешуйки, оказавшиеся на лапках пойманной мухи, не дают насекомому удержаться на внутренних стенках кувшинчика. Когда к лапкам мухи прилипает много чешуек, она падает вниз и гибнет.

Петли-ловушки для поимки нематод у гриба. Если к ним прикоснуться, они мгновенно набухают и стягиваются.

Пойманная нематода прочно удерживается тремя петлями, каждая толщиной всего 0,0025 сантиметра. Гибель последует быстро, когда нити гриба проникнут в тело жертвы.

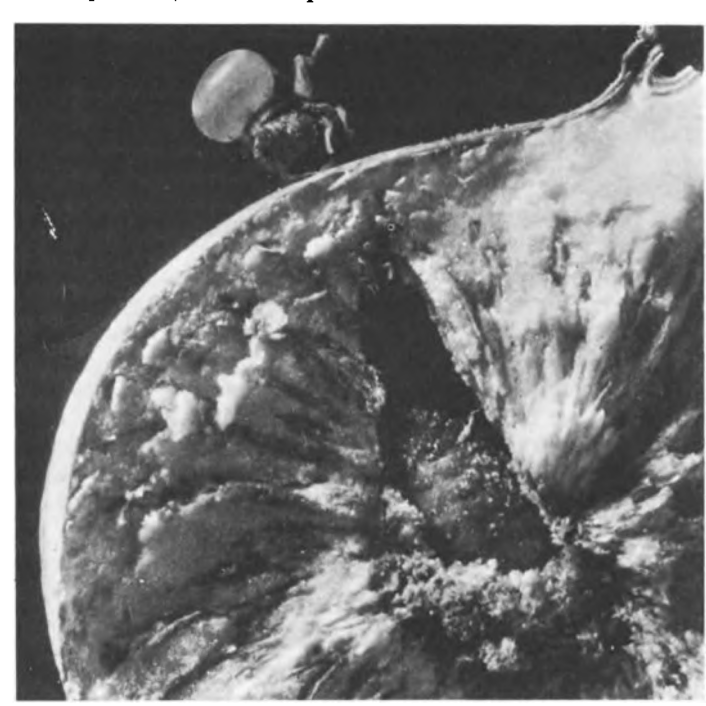
Живые убежища

Образование галлов на растениях может быть вызвано действием самых разнообразных факторов, к которым относятся и грибы, и бактерии, и вирусы, но наиболее сложные и видоспецифические галлы образуются под воздействием насекомых. Галлы насекомых могут быть круглыми, яйцевидными, веретенообразными, они могут быть похожи на тонкие диски или липкие мхи. Их наружная оболочка может быть гладкой или клейкой, опушенной или бугристой. Несмотря на это удивительное разнообразие, галлообразующие насекомые очень специфичны в выборе растений-хозяев. Всего лишь 12 семейств растений — среди них розы, золотарник, ивы и дубы — дают убежище почти трем четвертям из 2000 разновидностей галлов, известных в Северной Америке. Только на долю орехотворок приходится более 800 этих необычных образований, причем самым предпочитаемым объектом являются дубы. Орехотворки стимулируют возникновение 275 различных видов галлов на листьях дуба, 175 на ветвях дуба, 45 — на почках, 41 — на корнях и 55 — на цветках и желудях.

Галлы снабжают развивающееся насекомое и пищей и убежищем, так что насекомые явно выигрывают от своей способности вызывать образование галлов. Растение же не получает от этого никаких преимуществ, а, потратив на галлы большие количества запасов питательных веществ, как правило, еще и страдает.

Круглые наплывы на стеблях золотарника — это уже зрелые галлы; их образование стимулировали яйца орехотворки, отложенные два месяца назад. Такие галлы появляются на любом растении золотарника всегда на одной и той же высоте.

Вскрыв галл, можно рассмотреть уютное убежище личинки орехотворки. Снаружи галл твердый и гладкий; внутри он заполнен губчатой тканью, которой и питается личинка.



Крошечный туннель, проделанный личинкой, — это путь взрослой орехотворки на свободу. Воздушный мешок на ее голове достаточно прочен, чтобы пробить твердую оболочку галла.

Муравей выглядывает из своего нового жилища — галла, недавно покинутого дубовой орехотворкой.

Гигантская голова — одна из реликвий в Анкоре — покрыта лишайниками и корнями хлопкового дерева. Она свидетельствует о прежней славе кхмеров, обязанных своим богатством основной продовольственной культуре — рису.

8

Человек-властелин

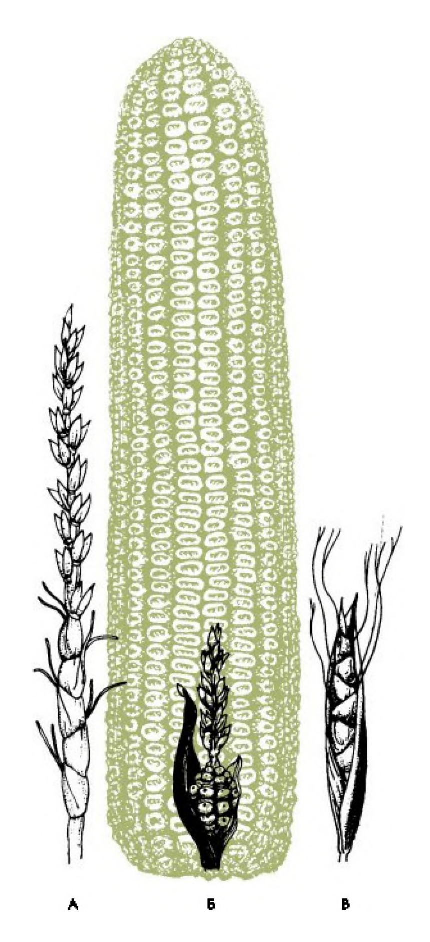
Хотя человек сам является продуктом природы и относится к классу млекопитающих, он, совершенно очевидно, не может больше рассматриваться просто как часть природы. Благодаря своим орудиям труда, химикатам, средствам передвижения и особенно способности мыслить и исследовать он уже давно как бы стал над природой. Это прежде всего относится к взаимоотношениям человека с растениями: его роль должна рассматриваться совершенно особо, отдельно от роли любого другого фактора в их окружении. Главным в этой роли является то, что человек способен управлять жизнью растений.

Хорошо ли это или плохо для человека и для растений? Вопрос довольно праздный, поскольку такое развитие событий стало неизбежным. Пока человек добывал пищу, собирая в лесу плоды, а в поле семена и корни, он мало чем отличался от муравья или белки и был действительно частью природы; численность его также была ограничена. Обилием растений, идущих в пищу, такой сборщик похвастать не мог — среди многочисленных форм растений пищевой ценностью обладают лишь очень немногие, остальные либо ядовиты, либо горьки на вкус, либо трудноперевариваемы. Таким образом, так называемая «емкость естественных угодий» для человека была и все еще остается очень малой. Кое-где и теперь сохранились племена, которые питаются исключительно дикими растениями и животными, но они обеспечены пищей ненамного лучше, чем гориллы или орангутанги джунглей, которых осталось всего несколько тысяч. Численность человекообразных обезьян, питающихся в основном плодами, листьями и побегами очень молодых деревьев, постоянно уменьшалась в течение тысячелетий, так же как и численность наиболее примитивных человеческих племен.

Исходя из этого, мы можем хотя бы приблизительно установить макси-

мальную численность людей, обитавших на Земле до того, как человек начал сознательно выращивать определенные растения для использования их в пищу. Вряд ли она превышала три миллиона, а может быть, была и того меньше. Из ныне живущих людей австралийские аборигены наиболее близки к первобытным людям, никогда не знавшим сельского хозяйства; их насчитывается примерно 40 000 и живут они в полуцивилизованных условиях. Известно, что в Северной Америке на богатой дичью территории Великих равнин площадью полтора миллиона квадратных километров жило приблизительно 150 000 индейцев; они вели кочевой образ жизни, охотились, собирали корни и ягоды и изредка выращивали небольшие урожаи. В наши дни южноамериканским индейцам для охоты нужно более 25 квадратных километров на каждого человека, что, вероятно, сопоставимо с тем, в чем нуждался человек в прошлом. Если принять площадь поверхности Земли, заселенной в очень давние времена, равной примерно 77 миллионам квадратных километров, то можно было бы легко понять, как невелики естественные возможности Земли для удовлетворения материальных потребностей человека.

Из этих данных становится ясным значение сельского хозяйства для человека. Нынешнее население земного шара, составляющее более 3 миллиардов человек, потребляет в тысячу раз больше, чем могла бы дать природа. Другими словами, если бы людям пришлось вернуться к использованию только естественных природных ресурсов, смог бы выжить лишь один из каждой тысячи живущих ныне.



ПРЕДКИ КУКУРУЗЫ

Впервые дикорастущая кукуруза была введена в культуру не менее 7000 лет назад. Освоили ее индейцы тропической Америки, скрестив между собой растения кукурузы из различных областей. Позднее они скрестили кукурузу с Tripsacum (А), дикорастущим родичем злаков, и получили теосинте (В) — злак, похожий на кукурузу. Теосинте в свою очередь был скрещен с настоящей кукурузой; так появились более урожайные сорта. Успехи дальнейшей селекции кукурузы символизируются початком зубовидной кукурузы (зеленый фон); у него насчитывается от 500 до 1000 зерен. Початок самой ранней из известных разновидностей культурной кукурузы (Б) содержал всего 48 зерен.

Таким образом, развитие земледелия было одним из действительно больших достижений человека, которое можно сравнить разве что с укрощением огня. Возделывание растений, снабжающее человека пищей, одеждой и другими необходимыми предметами, не только обеспечило ему более благополучное существование, но и освободило от естественной ограниченности окружающей среды, дав ему возможность достичь численности, намного превышающей численность любых других высших животных. И если охота с копьем и дубиной была лишь более высокой ступенью того, что делали хищные животные, то земледелие было уже ни с чем не сравнимой попыткой управлять природой.

Когда и как возникло земледелие? Ответить на этот вопрос мы можем только предположительно — самое начало потеряно на заре истории. Известно, что со времени появления первых поселений — неолитического человека в Малой Азии и Европе и индейцев в Америке — развитие земледелия, начинавшееся с выдергивания сорняков,

чтобы они не мешали росту диких зерновых и других полезных растений, привело к намеренному высеву семян и, наконец, к вспашке почвы. Но где именно были высеяны первые семена и что за мужчины — или женщины — сеяли их, мы, видимо, никогда не узнаем.

Вероятнее всего, процесс шел постепенно. В роще или на лугу, облюбованном племенем, росло какое-нибудь съедобное растение, его семена могли быть не все съедены, и часть их проросла или была высеяна следующим летом. В земле на месте некоторых из древнейших индейских поселений были найдены стержни початков кукурузы длиной 5 сантиметров; на местах менее древних стоянок находили початки длиной 10 сантиметров, что уже свидетельствовало о возделывании кукурузы. Логично предположить, что первобытный человек, заметив бо́льшую продуктивность некоторых растений, стал выбирать наиболее урожайные из них. Возможно также, что соседние племена время от времени обменивались или торговали семенами более продуктивных растений, способствуя таким образом распространению этих качественно лучших форм на все бо́льшие территории.

Но как первобытный человек, не имея совершенно никаких научных знаний, довел большинство основных продовольственных культур до нынешней степени их совершенства — трудно представить. Как это ни странно, но мы, располагая богатейшей информацией о наследственности и изменчивости растений и многочисленными научными методами управления ими, смогли за последнее время добавить только одну новую продовольственную культуру к их основному набору: кукурузе, пшенице, ржи, ячменю, овсу, просу, рису, фасоли, гороху, сое, тыкве и другим главным культурам, которые человек знал на протяжении бесчисленных поколений. Этой единственной новой культурой оказалась сахарная свекла, которую человек вывел и усиленно культивировал в последние два столетия в первую очередь из экономических соображений — сделать зоны умеренного климата менее зависимыми от тропических областей, где возделывается сахарный тростник.

Высев семян для получения урожая — это лишь часть истории, самое ее начало. Нужно было разработать агротехнические приемы, чтобы помочь росту и развитию возделываемого растения. Нужно было вывести новые сорта растений, которые быстрее всходили бы после посева и давали бы достаточный урожай в данных условиях окружающей среды. В этом была срочная необходимость: ведь, начав выращивать растения, человек перешел к оседлому образу жизни, а с увеличением пищевых ресурсов возрастала и численность людей, и человек все больше и больше становился зависимым от того, что он получал от земли.

Наиболее примитивные приемы земледелия сводились к разбрасыванию семян на небольших расчищенных от леса участках, что давало всходам возможность вырасти раньше, чем над ними сомкнется естественный травостой. Эта система земледелия применялась туземцами Суматры и Борнео еще сравнительно недавно, когда они закладывали насаждения каучуконосной гевеи. Следующим этапом была расчистка более крупных участков и рыхление почвы мотыгой или каким-либо другим способом. Позднее появилась прополка полей, защищающая всходы от наступления дикой растительности, затем, вероятно, следовал совместный высев различных культур, помогающих друг другу расти, например кукурузы и фасоли, побеги которой поднимаются по стеблю кукурузы, как по опоре.

Следующим шагом вперед было изобретение плуга и, наконец, использование животных, чтобы тянуть его, потому что это позволяло обрабатывать все бо́льшие площади.

Еще одним нововведением, осуществленным уже в доисторические времена, было орошение. Современные индейцы все еще сеют кукурузу в поймах рек сразу же после того, как весенние паводковые воды пропитают землю, — возможно, это и натолкнуло на мысль об орошении. Набатайи — торговцы и земледельцы Палестины в период до нашего летосчисления — развили ее дальше, сооружая простые плотины, которые ослабляли ливневые паводки и заставляли воду разлиться по пойме, — система, которая привела к современным методам влагозарядкового полива полей.

С переходом к оседлому образу жизни, с ростом городов у земледельцев появилась и совершенно новая проблема — истощение почвы. Разливы рек приводили к заилению почвы и засолению грунтовых вод. Стало необходимым удобрять почву даже в местностях с обильным водоснабжением. Но и этого оказалось недостаточно, чтобы обеспечить пищей быстрорастущее население, и народы начали искать основные растительные продукты, в которых они нуждались, за пределами своих территорий.

Возделывание культур в широких масштабах вызвало в свою очередь новые проблемы — борьбу с эрозией, с сорняками, вредителями и болезнями, охрану почвы и поддержание плодородия. Самая серьезная из них — это борьба с эрозией. Везде, где незащищенная почва подвергается воздействию сильных ветров или избыточных осадков, происходит эрозия. Поскольку примерно 40% наших культурных растений, покрывающих более 80% пахотных земель, являются однолетниками, требующими ежегодного пересева, проблема за-

ПЯТЬ ПЕРЕСЕЛЕНИЙ РАСТЕНИЙ, ОСУЩЕСТВЛЕННЫХ ЧЕЛОВЕКОМ

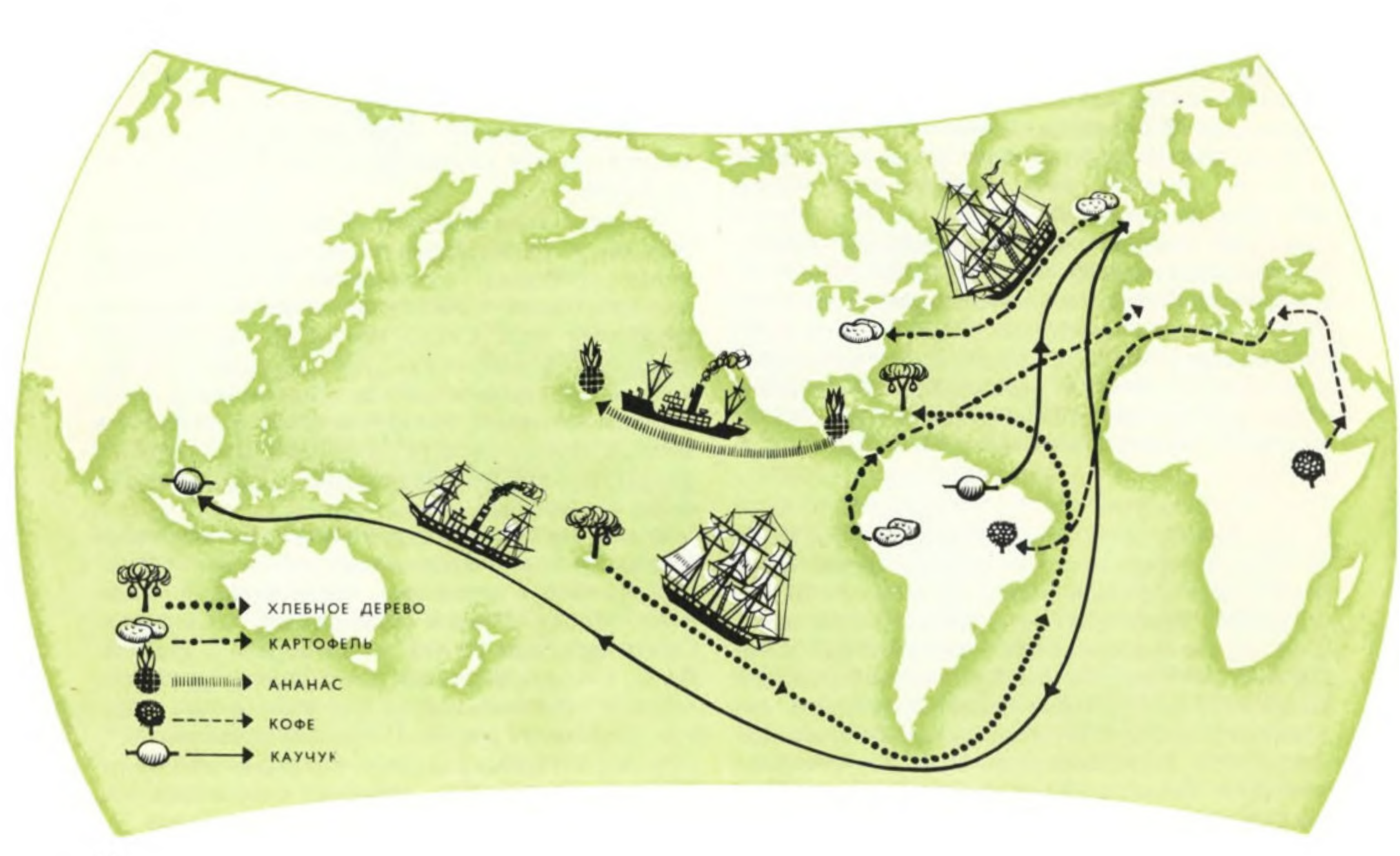
Хлебное дерево. Открытое в Полинезии в 1688 году английским искателем приключений Уильямом Дэмпьером, это тропическое растение спустя столетие было специально доставлено в Новый Свет, чтобы обеспечить рабов пищей.

Картофель. Вопрос о том, кто первым привез картофель как пищевую культуру из Нового Света — испанцы или англичане, — все еще дискутируется. Во всяком случае, это ценная пищевая культура стала столь популярной, что ирландские эмигранты в 1719 году реинтродуцировали ее в Северную Америку.

Ананас. Никто не знает, как это растение Нового Света проникло из тропической Америки на Гавайские острова. Но благоприятный климат и неустанный уход создали столь вкусный плод, что Гавайские острова в настоящее время производят одну треть всех ананасов в мире.

Кофе. Более 10 веков кофе в виде сырых плодов или обжаренных зерен использовалось как возбуждающее средство сначала на его родине в Африке, затем в Азии и Новом Свете. В настоящее время основные товарные урожаи кофе выращиваются в Южной и Центральной Америке.

Каучук. Родина каучуконосной гевеи — бассейн Амазонки. До 1875 года ею монопольно владела Бразилия, пока англичане контрабандным путем не вывезли из Бразилии 7000 семян гевеи, спрятав их в горшках с невинными образцами редких тропических растений.



щиты этих полей, обнаженных осенью, зимой и весной, приобретает особо важное значение. Потеря пахотного слоя почвы — это только одно из вредных последствий эрозии; при этом происходит также вымывание питательных веществ из почвы, особенно серьезно проявляющееся в тропических странах с их обильными осадками. Сельское население вынуждено регулярно расчищать под посевы все новые площади первобытных лесов, что приводит к выщелачиванию почвы и ее дальнейшей эрозии.

Возникновение земледелия ввело в употребление новое понятие — сорняк. Сорняком может быть любое растение: все зависит от того, где оно растет и в какой степени затрагивает человека. Иначе говоря, сорняк — это любое растение, растущее в нежелательном для человека месте. Сорняком будет и куст томата в цветнике, и цинния на поле с томатами. (Без помощи человека томаты растут только в Перу — в стране, откуда они происходят, и единственном месте, где внешние условия пригодны для прорастания их семян и полного вызревания плодов.) Большинство сорняков распространилось по всему миру по вине человека. До появления парусных судов, а затем пароходов, железных дорог и аэропланов распространение растений было медленным и весьма ограниченным. Однако теперь с грузом зерна из Канады сорняки из Нового Света могут легко попасть в Англию. Только на протяжении последних 100 лет в Европу не раз вторгались американские сорняки, например галинсога, а в Америку — европейские, например солянка русская, зверобой продырявленный и многие другие; и с каждым из них надо было серьезно бороться, иначе они резко снижали урожаи выращиваемых культур.

Самым важным из всех новых факторов, которые в последнее время революционизировали земледелие, явилось научное исследование. Даже создание сельскохозяйственных орудий, позволяющих одному земледельцу производить работы, на которые 100 лет назад потребовалось бы не менее 10 человек и 20 лошадей, не привело к столь значительным достижениям, к каким привела деятельность ботаников и агрономов. Веками культурные растения выращивались на основе знаний, приобретенных методом проб и ошибок и передаваемых от отца к сыну. И только научное исследование раскрыло перед человеком возможность задавать самой природе разумные вопросы путем постановки опытов и получать от нее вполне определенные ответы. Научные исследования привели к открытиям, имеющим огромное значение для существования человека на нашей все более перенаселяемой планете.

Первым и самым важным открытием было установление того факта, что при интенсивном возделывании культур из почвы удаляется часть ее «оборотного капитала» — питательных веществ. Каким бы элементарно ясным нам сейчас ни казалось это положение, его признание более столетия назад было важнейшей вехой в земледелии. Сформулированный Либихом в 1840 году «закон минимума» гласил, что урожай культуры лимитируется минимальным количеством любого из важнейших минеральных питательных веществ в почве. На этом и основывается современная концепция применения удобрений.

Другим важным открытием, сделанным примерно 100 лет назад, было установление того, что болезни растений вызываются патогенными организмами, проникающими в растение. Это было равнозначно открытию Кохом и Пастером роли бактерий в заболеваниях людей и позволило предотвращать болезни растений. Вылечить отдельные пораженные растения трудно; отсутствие у растений циркуляционной системы ограничивает применение лечебных препаратов. Однако предотвращать болезни — дело вполне реальное. Например, опрыскивание посевов фунгицидами (химикатами, прерывающими жизненный цикл патогенного организма) дает прекрасные результаты — устойчивые урожаи и повышение продуктивности. Хотя фитофтороз картофеля все еще остается постоянной угрозой, бедствие, подобное тому, которое когда-то постигло Ирландию, в наше время в любой стране с современным земледелием столь же маловероятно, как и эпидемия черной оспы.

Научные исследования открыли нам законы наследования и пути управления генами — два достижения, результаты которых ощущаются во всем мире. Они позволили повести широкую и целенаправленную селекцию новых, высокоурожайных сортов растений, более устойчивых к неблагоприятным климатическим условиям и болезням. Возможность химическим путем удваивать число хромосом у растений открыла перспективы для гибридизации (только выведение гибридной кукурузы повысило ее урожайность более чем на 25%), а получение искусственных мутаций путем облучения высокоэнергетическими частицами или химической обработки дало селекционерам дополнительные средства для выведения новых сортов растений.

Аналогичным образом изучение предков культурных растений и установление благодаря таксономическим исследованиям близкородственных связей способствовали предотвращению болезней и увеличению урожаев культур. Так, например, дикорастущий азиатский злак, у которого обнаружили устойчивость к ржавчине пшеницы, оказался родственником культурной пшеницы.

что позволило передать его ржавчиноустойчивость культурному растению — еще один шаг в борьбе с этой крайне коварной болезнью.

Весьма благодарными задачами исследований за последние 50 лет было изучение минерального питания растений и функций микроэлементов. Без ничтожных количеств этих микроэлементов ни одно растение не может нормально развиваться. Так, оказалось, что пятнистость листьев апельсинных и других плодовых деревьев обусловлена недостатком цинка в почве, а повреждение точек роста у цветной капусты — нехваткой бора. Эти наблюдения способствовали улучшению диагностики заболеваний других растений. Одно открытие вело к другому: применение хелатных соединений железа и других металлов позволяет в настоящее время устранить многие случаи пожелтения листьев культурных растений, происходящего из-за недостатка хлорофилла.

Изучение фотопериодизма, реакции растения на продолжительность светового дня, дало ученым возможность регулировать рост растений, воздействовать на него, что было немыслимо полвека назад. Ростовые вещества, еще совершенно не известные лет 40 назад, способствуют лучшему укоренению черенков, созданию бессемянных плодов и многому другому. Опрыскивание ростовыми веществами может предотвратить преждевременное опадение яблок, вызвать цветение у ананасов (где оно желательно) и предотвратить его у сахарного тростника (где оно нежелательно). Гербициды, синтезированные около 20 лет назад, химически родственны ростовым веществам, но небольшое изменение в их химической структуре делает их токсичными. Это открыло совершенно новые пути для избирательной борьбы с сорняками.

Все еще не вышло из младенческого возраста изучение влияния климатических факторов на растения в лабораториях с кондиционированным воздухом. Однако и здесь уже накоплены ценные знания, которые помогают определять условия роста растений в природе и в поле, а значит, и более эффективно управлять культурными растениями.

Область исследований в мире растений кажется почти бесконечной, и ее возможности можно вполне обоснованно считать неограниченными. Из сотен тысяч существующих растений человеком пока использованы лишь немногие тысячи. Открыв хозяйственную ценность какого-либо растения, ботаники начинают исследование, отбор, селекцию и улучшение этого растения. Выискивают его ближайших дикорастущих родичей и пытаются путем гибридизации передать растению и другие, наиболее желательные свойства, такие, как, скажем, устойчивость к ржавчине (у пшеницы) или выносливость к низким температурам (у томатов и гороха). Все это необходимо для введения нового растения в культуру.

Вышесказанное особенно подчеркивает значение, которое придается дикорастущим растениям для дальнейшего развития полезных человеку свойств у культивируемых видов. Уничтожая дикую растительность, мы вместе с ней теряем бесценный резерв для дальнейшего улучшения культур — уже не сможем черпать из почти бесконечного источника, для создания которого природа проявила столько изобретательности за миллионы лет эволюции. Только по одной этой причине мы должны ревниво сохранять большие пространства земли в их первоначальном, нетронутом состоянии как хранилища богатств природы, помня о том, что, если они будут уничтожены, мы уже никогда не сможем их возместить. А заранее предсказать, какое растение может стать хозяйственно важным в ближайшие тысячи лет, нельзя. После того как наше ископаемое топливо — уголь и нефть — будет исчерпано, мы попадем в еще большую зависимость от Солнца и растений, даже при наличии атомной энергии.

Вопрос о количестве энергии, которое можно получить в конце цепи питания, чрезвычайно важен для будущего всего человечества. Как правило, в каждом звене такой цепи 90% составляют потери — когда животное поедает животных или растения. Особенно велики потери в море. Тунцы и другие крупные рыбы питаются мелкими рыбами, мелкие рыбы — планктонными организмами, главным образом ракообразными, а те в свою очередь — водорослями. Поэтому когда мы едим тунца, то в калорийном выражении с учетом общей потери тепловой энергии в море получаем меньше $1/500\,000$ первоначальной световой энергии, используемой водорослями. Это одна из причин, почему, несмотря на высокую продуктивность водорослей, океан вряд ли станет основным источником пищи для людей. Каковы же перспективы, есть ли надежда на то, что дальнейшее увеличение производства продуктов питания, растительного сырья сможет обеспечить потребности бурно растущего населения Земли?

В настоящее время лишь 10% поверхности суши занято под сельскохозяйственные культуры и еще 19% — под сенокосные угодья и пастбища, то есть бóльшая часть используемой в сельском хозяйстве земли служит для производства мяса. Если потребуется, какую-то часть сенокосных угодий и пастбищ можно будет занять под полевые культуры. Из 30% суши, покрытой сейчас лесами, часть также может быть использована под поле-

вые культуры, а оросив, осушив и удобрив больше пустынь, болот и других бросовых земель, можно и их сделать пригодными для земледелия. В общем и целом не будет слишком оптимистичным утверждать, что, если потребуется, мы сможем по крайней мере вчетверо увеличить площадь пахотных земель.

Еще одним резервом увеличения производства продуктов питания является урожай с 1 гектара. В США он в среднем выше, чем в большинстве других стран, благодаря более интенсивной системе земледелия и использованию бо́льших количеств удобрений. Но даже и при этом средние урожаи кукурузы в США составляют всего 34,3 центнера с 1 гектара. При полном использовании всех ресурсов эта величина могла бы возрасти более чем в три раза. Если взять земной шар в целом и не учитывать вопросов экономики, можно сказать, что общую продукцию пищи с 1 гектара также можно увеличить примерно в четыре раза.

Дальнейший выигрыш в доступных пищевых калориях может быть получен при переходе от животной к преимущественно растительной пище. Итак, подводя итог, можно сказать, что при использовании всех современных достижений сельскохозяйственной науки нынешнюю мировую продукцию пищи можно увеличить примерно в 20 раз.

Но есть и другая возможность увеличить производство пищевых продуктов — повысить эффективность производства питательных веществ *самим растением*. В естественных условиях растения преобразуют лишь чуть больше 2% солнечной энергии в химическую, и только половина этого используется в виде пищи. Однако теоретически растение могло бы преобразовывать 10% световой энергии, то есть в пять раз увеличить использование света. Может ли такое увеличение действительно быть достигнуто — весьма сомнительно, но некоторое увеличение вполне возможно. Для повышения эффективности использования света растениями исследователям придется создать совершенно новые методы культивирования растений; это будет возможно, только если нам удастся лучше понять процессы фотосинтеза и роста растений.

Кроме того, конечно, предполагается, что мы сможем полностью ликвидировать болезни и вредителей, все еще производящих значительные опустошения на наших полях. Это очень смелое предположение, поскольку массовое выращивание культур определенно приводит и к массовому поражению болезнями и вредителями. Так, в джунглях далеко отстоящие одно от другого деревья гевеи не часто поражаются местным заболеванием листьев, которое вызывает гриб *Alternaria brassicae*, между тем плантация гевеи в той же местности может быть полностью уничтожена этой болезнью. То же происходит и с нашествием вредных насекомых: одиночные растения обычно мало повреждаются, но на плантациях они, как правило, становятся жертвой тлей, гусениц и других вредных насекомых. Естественные враги этих насекомых в условиях массового возделывания культур также оказываются малополезными — после уборки урожая они могут выжить, только если будут обеспечены пищей. Именно поэтому человек обратился к химическим средствам борьбы с вредными насекомыми и болезнями растений. Как само существование людей невозможно без передового сельского хозяйства, так и земледелие не может существовать без разумного применения инсектицидов, фунгицидов и гербицидов. Это единственный путь эффективной защиты растений, который должен быть распространен по всем странам мира.

Теперь давайте подведем баланс расходов и поступлений, которые нас ожидают в результате расширения возможностей человека управлять растениями. Мы видели, каким сложным образом связана жизнь человека с растениями. Вся энергия, необходимая для поддержания жизни в организмах животных и людей, накапливается растениями, использующими для этого световую энергию Солнца в сложном фотосинтетическом процессе восстановления углекислоты. Поскольку биохимизм клетки животного или человека так сильно сходен с биохимизмом растительной клетки, пища, накопленная растениями, может непосредственно использоваться организмом человека, что невозможно в отношении любого другого вида энергии, будь то ядерная, механическая, электрическая или тепловая. Но и растения получают пользу от человека. Ежедневно наши ботаники, агрономы, садоводы, лесничие, фитопатологи, энтомологи, почвоведы, селекционеры и десятки других специалистов отдают свою энергию и знания на улучшение растений, а земледельцы — на то, чтобы сельскохозяйственные культуры могли хорошо расти и развиваться.

Оптимисты утверждают, что там, где человек действовал разумно, продуктивность почвы возросла и признаков ее истощения не наблюдается. Человек правильно распределяет минеральные питательные вещества: он берет калий и фосфор оттуда, где они лежат без всякой пользы, и равномерно распределяет их на сельскохозяйственных землях, где они приносят наибольшую пользу. Он посадил парки и сады, оживив изначально однообразную растительность. Путем исследования и селекции он создал высокоурожайные пищевые культуры, превосходные на вкус, а его успехи в селекции цветов поистине феноменальны.

С другой стороны, подводя итог деятельности человека, мы должны признать, что он уничтожил — иногда без всякой необходимости — потрясающее количество лесов и других форм растительности и не обеспечил при этом их возобновления; он вызвал страшную водную и ветровую эрозию в результате неразумного использования земель; он теряет и в ближайшем будущем может потерять тысячи видов растений, созданных эволюцией за сотни миллионов лет, которые никогда не удастся восстановить. Повторяем, никто не может сказать, какие растения могут стать жизненно важными в земледелии или лесоводстве будущего. Мы просто *обязаны* считаться с предупреждениями и предложениями специалистов по охране природы и должны действовать, прежде чем исчезнет еще большее число видов, прежде чем эрозия, огонь и обезлесение возьмут слишком большую дань с нашей растительности и почв.

Чудовищным лабиринтом кажутся поля орошаемого сахарного тростника на плодородных равнинах Мауи, одного из Гавайских островов.

ОБГОНЯЯ ГОЛОД

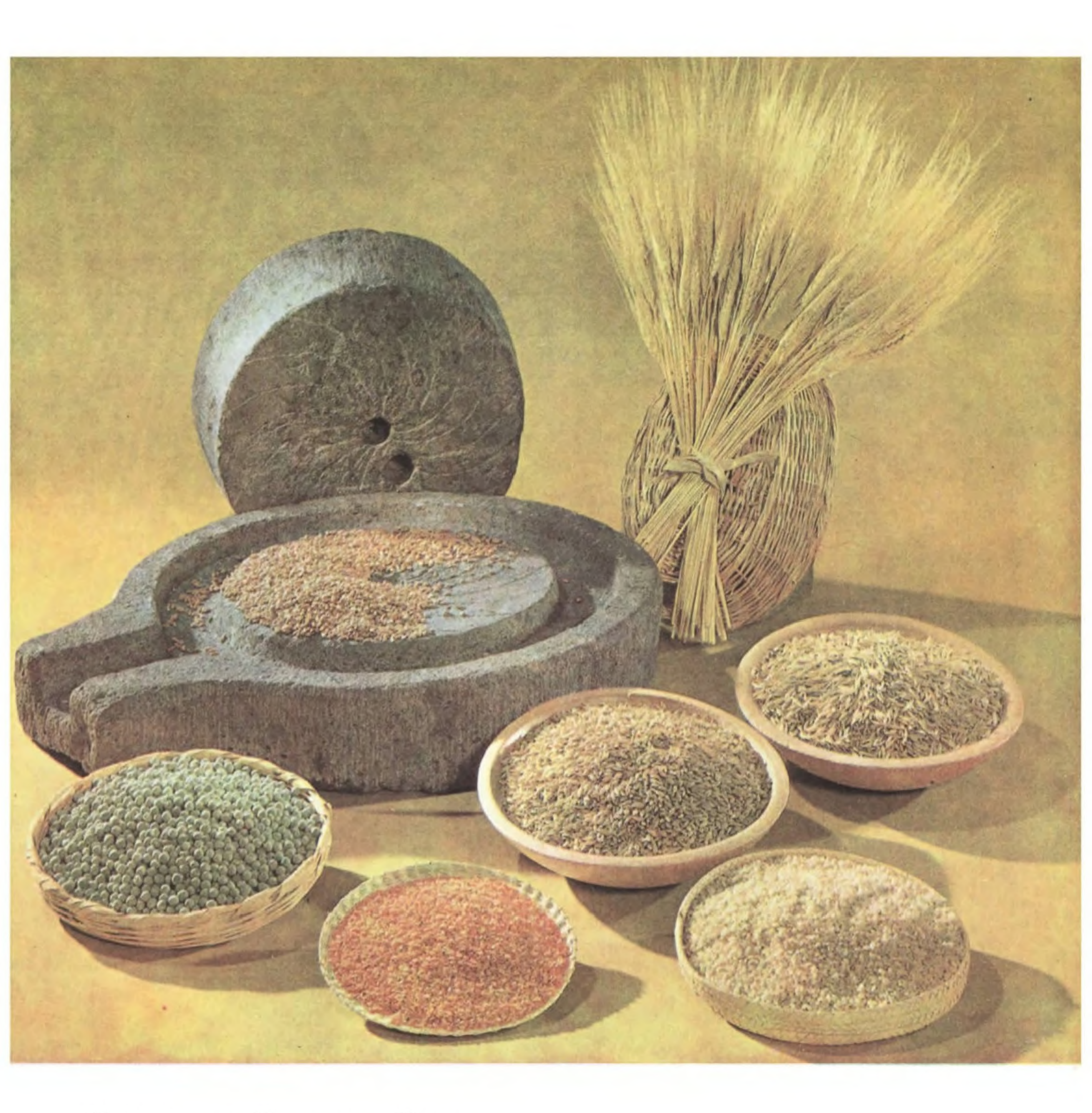
Более 200 000 лет человек вел кочевой образ жизни, впервые осев на земле лишь 10 000 лет назад, когда научился выращивать бо́льшую часть нужных ему растений. Введение в культуру дикорастущих растений создало новую жизнь, открыв путь к изобилию. Однако теперь мы стоим перед новой проблемой — что нужно сделать для повышения продуктивности почвы и как восстановить равновесие в природе.

Революция, основанная на семенах злаков

Заря цивилизации теснейшим образом связана с началом земледелия, контуры которого угадываются в туманных далях доисторического прошлого. Пока люди не научились выращивать для себя пищу, они были вынуждены кочевать, потому что голод гнал их с истощенных мест на новые охотничьи просторы. Первая большая перемена в этом суровом существовании малочисленного человеческого племени произошла примерно 10 000 лет назад где-то в районе Среднего Востока. Здесь люди давно собирали съедобные семена двух диких злаков, росших среди холмов. Затем они стали высевать эти семена и выращивать зерновые культуры — предки современной пшеницы и ячменя.

Этот революционный шаг — переход к земледелию — был сделан и в других местах (всегда с аналогичным результатом — основанием общин и подъемом человеческой активности). Не случайно за ним следовал расцвет цивилизации — возникновение письменности и металлургии, а также рост городов и поселений.

Подобно лестнице, поднимаются до самых вершин этих филиппинских холмов террасированные рисовые поля. Рис — еще одна основная зерновая культура. Вероятно, он был первой злаковой культурой, которую выращивали в Юго-Восточной Азии.



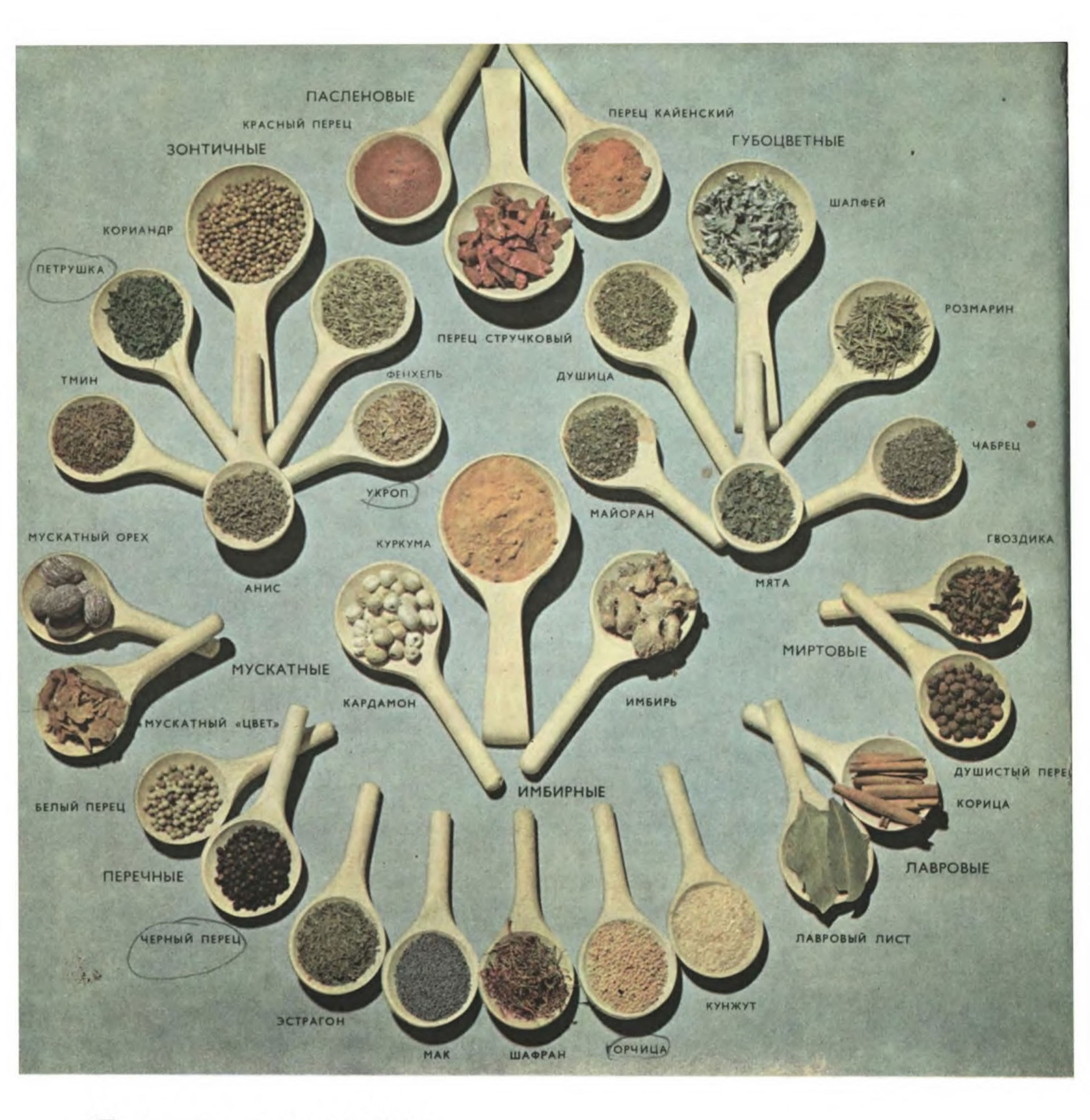
Богатства Старого Света

Шесть различных видов семян, изображенных на этом натюрморте, являются одними из старейших и самых основных продуктов питания: зерна пшеницы на каменной ручной мельнице, ячмень и овес в деревянных чашах и сухой горох, неободранный рис и красная чечевица в корзинках. Позади этих вымолоченных семян, развернутые подобно лучам солнца, стоят стебли спелой пшеницы — культуры, которая продолжает первенствовать среди всех зерновых культур Земли. Пшеницу выращивают почти на $\frac{1}{3}$ земель, отведенных под зерновые, и ежегодно ее собирают гораздо больше, чем риса, хотя рис более продуктивная культура и остается основным продуктом питания почти $\frac{2}{3}$ населения Земли. До того как у людей появилось пристрастие к хлебу, что привело к увеличению производства пшеницы, был широко распространен ячмень.

Дары Нового Света

Золото было не единственным ценным товаром, вывезенным конкистадорами из Америки. Белые люди увидели там пищу, настолько вкусную и питательную, что она изменила гастрономические вкусы жителей Европы, а со временем и всего мира. На снимке показаны некоторые из основных продуктов, которые индейцы создали из диких исходных форм и довели до высокой степени совершенства еще в доколумбовские времена.

Перенесенные на европейскую почву, эти новые культуры чувствовали себя прекрасно. Картофель и батат, тыквы и богатая белками фасоль оказались благодеянием для людей. А кукуруза наполняла амбары и кладовые так, как они редко бывали заполнены раньше, принося в среднем по 250 зерен на каждое посаженное зерно, или вдесятеро больший урожай, чем любая из других зерновых культур.

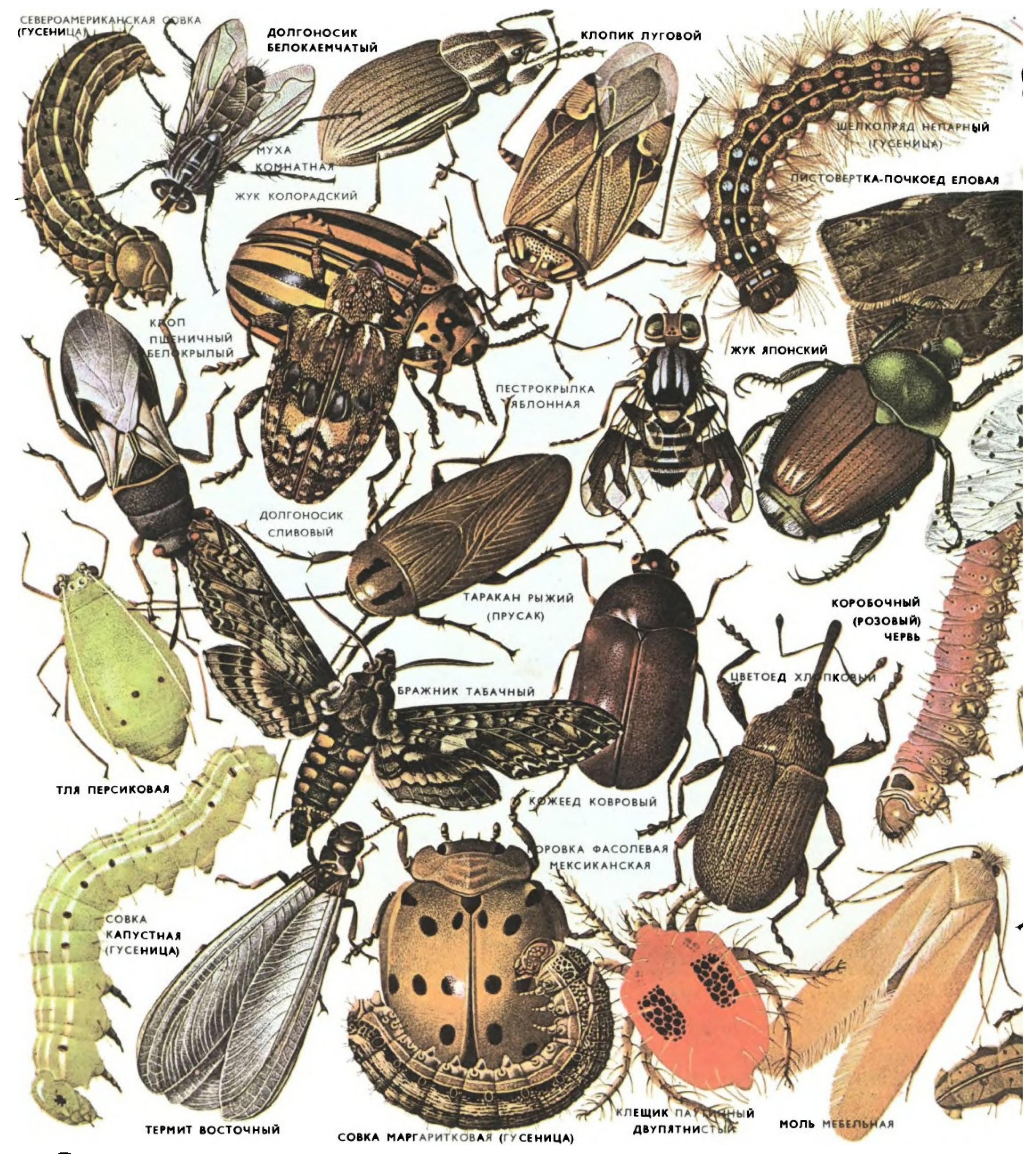


Пряности и приправы

Внутренняя кора одного вечнозеленого растения, нераскрывшиеся цветочные почки другого, корневище травянистого многолетника, пестики и рыльца поздно цветущего луковичного растения — все это высоко ценится в качестве пряностей и приправ к пище. Корица, гвоздика, имбирь и шафран. Все четыре культуры вместе с 27 другими широко употребляемыми травами и пряностями, которые состоят из высушенных листьев, корней, семян, ягод и плодов, представляют 13 семейств мира растений. На фотографии они сгруппированы так, чтобы была видна их связь друг с другом. Хотя большинство из них в настоящее время выращивается в довольно широких масштабах, многие, например розмарин, эстрагон, укроп, анис и лавровый лист, первоначально появились в Средиземноморье. Другие, вроде мяты, черного перца, мускатного ореха, мускатного «цвета» и гвоздики, пришли с Востока.

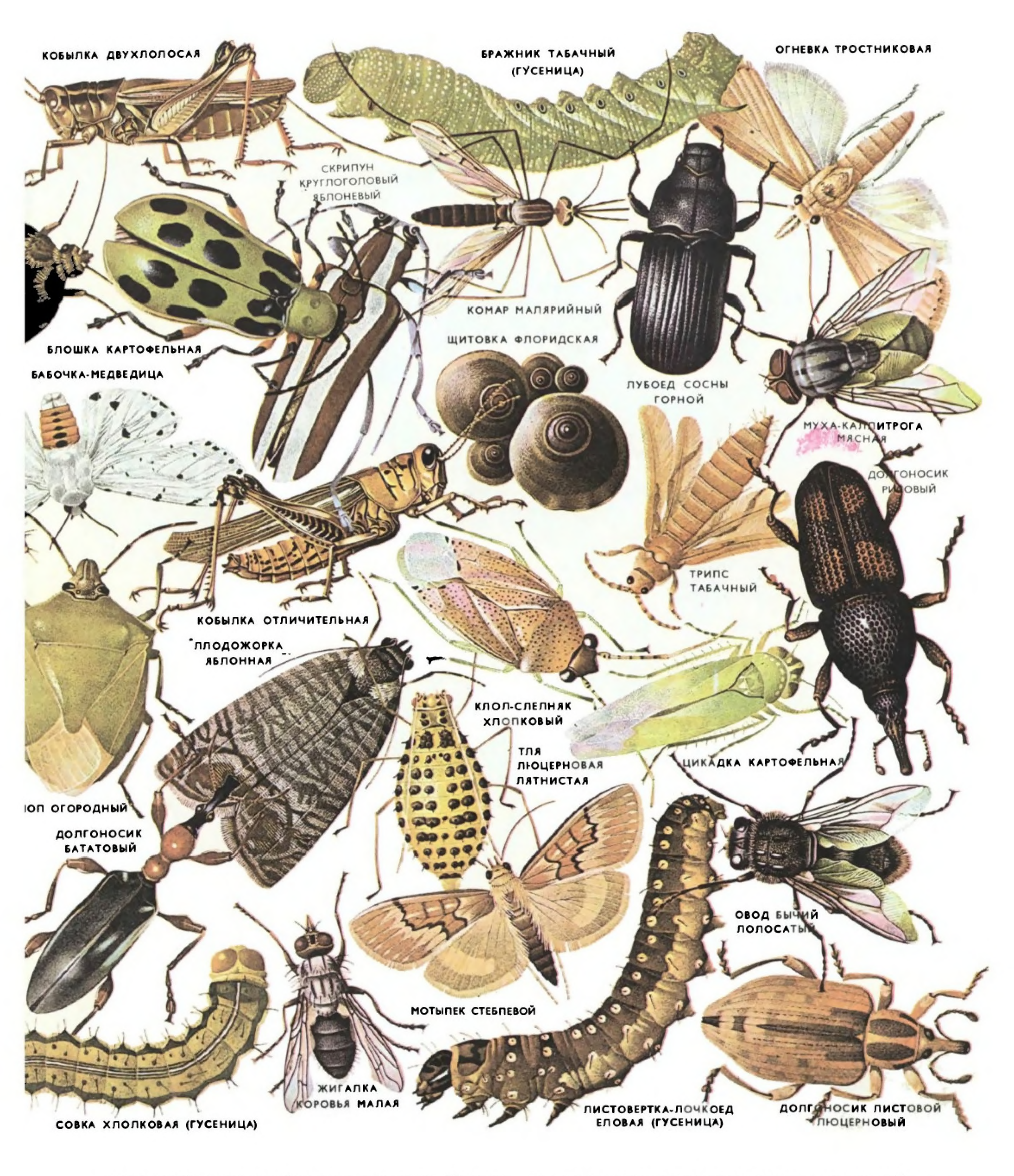
Человек выращивает обильный урожай

Потребность в растительной пище привела человека к экспериментированию с многими съедобными дикими формами, из которых раньше или позже произошли овощи, потребляемые нами в настоящее время. Вызывающая аппетит выставка зелени и корнеплодов (*вверху*) демонстрирует избирательное внимание человека к одному лишь семейству крестоцветных. Считается, что бело- и краснокочанная капуста, цветная, брокколи и брюссельская капуста, брюква, кольраби и турнепс произошли от одного крестоцветного предка, дикой капусты. Белокочанную капусту употребляли в пищу еще в бронзовом веке, она была популярна у египтян и римлян, которые охотно ели и такие острые овощи, как кресс-салат, хрен и редиску. А вот краснокочанную капусту и кольраби не знали до средневековья, брокколи и цветная капуста появились только в XVI веке. Брюссельская капуста является самым поздним пополнением, она выведена лишь в начале XIX века.



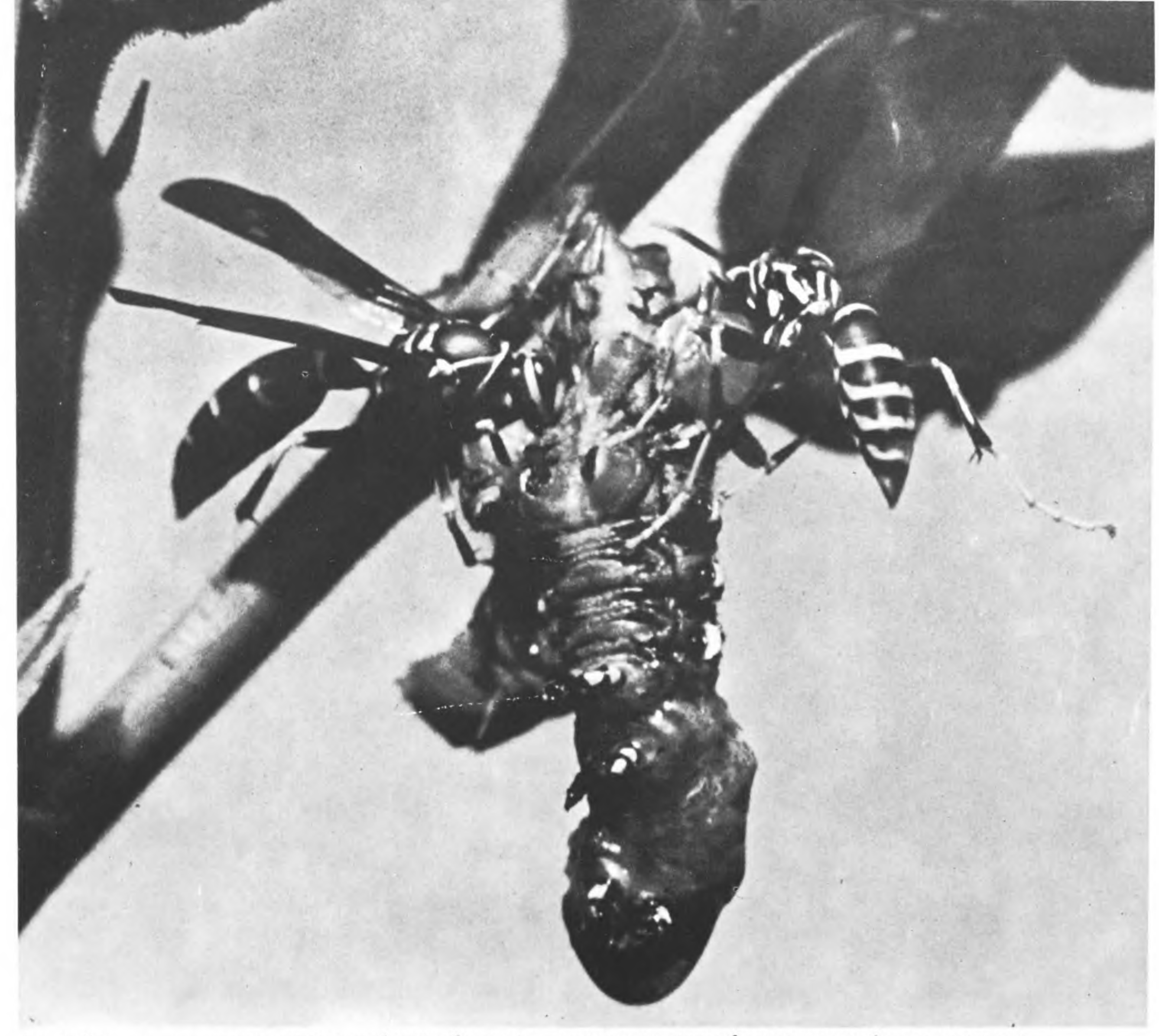
Сонм активных врагов

Многие из растений, от которых больше всего зависит пропитание человека, являются лакомой добычей вредных насекомых. На этом рисунке изображено 48 наиболее злостных вредителей. По степени вредоносности первое место занимает хлопковый долгоносик. Хотя на его уничтожение в США ежегодно расходуется 31 миллион фунтов стерлингов, долгоносик каждый год причиняет ущерб на 95 миллионов фунтов стерлингов. Леса страдают от еловой листовертки-почкоеда, непарного шелкопряда и лубоеда сосны горной. Этот последний ежегодно вызывает потерю дре-



весины на 4 миллиона фунтов стерлингов. Если не бороться с яблонной плодожоркой, то она по меньшей мере вдвое сократит производство яблок в США. Ряд вредителей, таких, как японский жук, непарный шелкопряд, люцерновый долгоносик, стеблевой мотылек, попали в США из-за рубежа и, не встретив своих естественных врагов и болезней, которые ограничивали бы их численность, невероятно размножились там. В целом затраты на борьбу с вредными насекомыми в США составляют приблизительно 275 миллионов фунтов стерлингов в год.

Борьбу с прожорливой пятнистой люцерновой тлей можно вести с помощью ее естественных врагов Эти враги уничтожают тлей тремя способами: хальциды откладывают в них свои яйца, хищные клопы, личинки и взрослые особи жуков-коровок и зеленые златоглазки поедают тлей; некоторые тли поражаются грибной болезнью (на центральном стебле).



Осы Polistes, уничтожающие гусениц табачного бражника, стали желанными обитателями табачных плантаций.

Полезное равновесие в природе

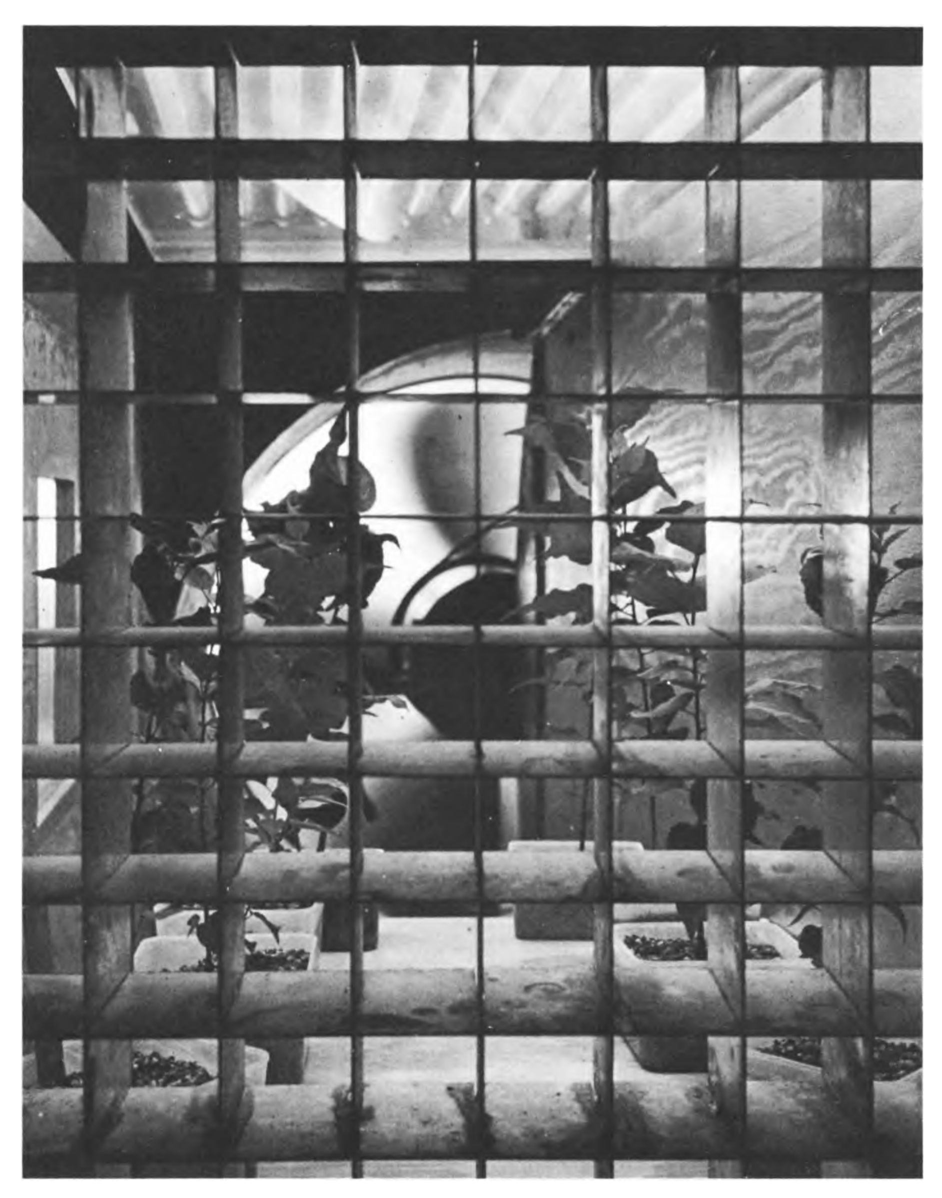
В поисках путей борьбы с вредителями сельскохозяйственных культур ученые обратились за помощью к хищным насекомым. В тех случаях, когда сами хищники не представляют угрозы растениям в качестве их потенциальных вредителей, такой естественный метод борьбы может широко применяться. Здесь вы видите классический пример использования одного насекомого против другого. К видам, привлеченным для уничтожения пятнистой люцерновой тли, относится и браконида (наездник) *Trioxys*, ввезенная в Калифорнию с Ближнего Востока, она изображена в момент откладки яиц в тело тли на втором слева стебле. Другим аналогичным примером является использование известных ос *Polistes* на табачных плантациях. Эти осы убивают гусениц табачного бражника и уносят их по частям для кормления потомства. Возможность замены ядохимикатов весьма привлекательна, так как недостаточно осторожное применение ядохимикатов может изменять аромат табака в нежелательную сторону.

Насекомые мобилизуются и на борьбу с другой группой сельскохозяйственных вредителей — с сорняками. Один из жуков-листоедов, попавший из Европы в Америку в 40-х годах, полностью очищает западные штаты США от злостного сорняка — зверобоя продырявленного, также случайно завезенного из Европы. А бабочка *Tyria jacobaea*, недавно интродуцированная из Франции, делает набеги на еще одного выходца из Европы — на крестовник Якова.

Путь к повышению продуктивности сельскохозяйственных растений

Ученые неустанно работают над поисками новых путей увеличения производства продуктов питания. Прогресс, уже достигнутый сельскохозяйственными науками, неоспорим. Созданы удобрения, инсектициды и гербициды, что, несомненно, улучшило условия для выращивания сельскохозяйственных культур. В случае прекращения их использования уровень производства продуктов питания катастрофически упал бы. Выведены линии, невосприимчивые к инфекции, что снизило частоту заболевания растений. Получены гибриды путем скрещивания различных сортов одного и того же растения, более урожайные и приспособленные к специфичным условиям выращивания.

Перечень этих достижений мог бы быть бесконечным.



Сеянцы абрикоса испытываются в аэродинамической трубе для определения влияния скорости ветра на их рост.

При помощи сельскохозяйственной авиации не только проводят обработку инсектицидами и гербицидами, но и вносят удобрения, засевают поля и проводят дефолиацию или десикацию для облегчения уборки урожая:

ЦАРСТВО РАСТЕНИЙ*

В предлагаемом нами кратком руководстве мы постараемся проследить процесс эволюции, в ходе которого из примитивных водных обитателей образовалось 250 000 цветковых травянистых, кустарниковых и древесных видов. Такое руководство, конечно, может лишь в какой-то степени отразить разнообразие мира растений с его примерно 375 000 существующих ныне видов.

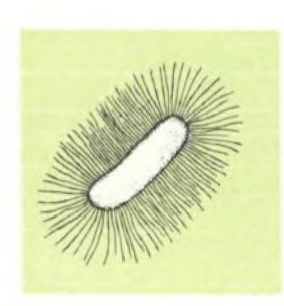
Растения делятся на две группы — низшие и высшие. Размножение представителей первой группы происходит только при наличии влаги. Размеры этих более простых растений колеблются от микроскопических бактерий до гигантских морских водорослей. Водоросли и немногие бактерии содержат хлорофилл, а у грибов и большинства других бактерий его нет.

Высшие растения становились в своем размножении все более независимыми от водной среды. В большинстве своем наземные обитатели, они развили корни, стебли и листья, а также сосудистую систему, распределяющую воду по всему растению. Образование семян и развитие цветков — позднейшие приобретения этих растений в ходе их эволюционного развития.

I. Подцарство

THALLOPHYTA

А. Отдел Schizophyta



1. КЛАСС SCHIZOMYCETES

Бактерии — это мельчайшие одноклеточные организмы, в отдельных случаях, вероятно, аналогичные самым ранним формам жизни. Они одинаково хорошо живут почти в любых условиях окружающей среды. Одни из них способствуют процессам разложения, освобождая питательные вещества, необходимые высшим растениям, другие вызывают болезни. Некоторые из них имеют большое хозяйственное значение. На рисунке — *Escherichia.*

2. КЛАСС CYANOPHYCEAE

Сине-зеленые водоросли — самые простые из всех хлорофиллсодержащих растений. Помимо хлорофилла *a* у них имеются также пигменты, придающие им окраску от синей до буроватой. Многие из них поддерживают плодородие почвы, связывая атмосферный азот. Некоторые виды могут даже обитать в горячих источниках. На рисунке — *Nostoc*.

Б. Отдел Rhodophyta

1. КЛАСС BANGIOPHYCEAE

Эти примитивные красные водоросли (багрянки) своей окраской часто напоминают сине-зеленые водоросли. Для некоторых из них характерна сложная разветвленная структура. В большинстве своем это морские растения, которые живут, прикрепившись к скалам в приливно-отливной зоне. Небольшое число видов обитает в воде на глубине до 180 метров, используя там слабый синий свет для фотосинтеза. На рисунке — *Porphyra.*

2. КЛАСС FLORIDEOPHYCEAE

Большинство более развитых красных водорослей обитают в тропических и субтропических морях, но встречаются и пресноводные виды, а также виды, обитающие в морях зоны умеренного климата. Один из них, ирландский мох, образует каррагенин — эмульгатор и стабилизатор. Некоторые из этих видов используются в качестве продукта питания, и в ряде стран их специально выращивают для этого, прежде всего в Японии. На рисунке — *Polysiphonia*.

* Автор делит растения на отделы и классы, используя при этом номенклатуру, кое в чем отличную от той, которой придерживаются большинство советских ботаников. Но мы должны признать такое право за автором, так как общепризнанной естественной классификации растений еще нет.

В. Отдел Chlorophyta

1. КЛАСС CHLOROPHYCEAE

Зеленые водоросли — предшественники высших (зародышевых) растений — встречаются в соленой и пресной воде, а также во влажных наземных местообитаниях. Они являются основным источником корма для водных животных. Растут либо в виде одиночных клеток, либо образуют нитевидные или листовидные колонии; некоторые даже напоминают высшие растения. На рисунке — *Spirogyra.*

2. КЛАСС CHAROPHYCEAE

У харовых водорослей уже есть стебли, которые несут мутовки коротких ветвей. По внешнему виду они гораздо ближе к высшим растениям, чем какие-либо другие зеленые водоросли. Растут и в пресной и в солоноватой воде, прикрепляясь ко дну. Некоторые виды участвуют в образовании известняка. На рисунке — *Chara.*

Г Отдел Euglenophyta

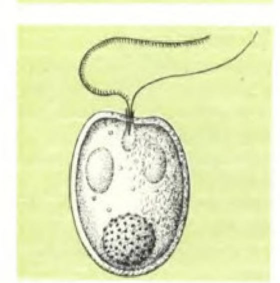
КЛАСС EUGLENOPHYCEAE

Эвгленовые одноклеточные свободноплавающие жгутиковые водоросли обладают признаками и растений и животных; поэтому на них претендуют и ботаники, и зоологи. Поскольку эти растения развивались в направлении простейших животных организмов, их изучение важно для понимания эволюции. На рисунке — *Euglena.*

Д. Отдел Pyrrophyta

1. КЛАСС CRYPTOPHYCEAE

Большинство криптофитов — одноклеточные водные растения. Родов в этом классе мало, и изучены они недостаточно. У многих представителей хорошо заметна глотка, и они очень похожи на животных. Некоторые криптофиты были предками жгутиковых простейших. На рисунке — *Cryptomonas.*



2. КЛАСС DESMOPHYCEAE

Десмидиевые — это еще одна группа преимущественно одноклеточных морских водорослей, обитателей тропических вод. Они насчитывают всего полдесятка родов и основательно не изучались; близки к классу динофлагеллят. На рисунке — *Exuviaella.*

3. КЛАСС DINOPHYCEAE

Динофлагелляты, микроскопические обитатели океанов, составляют важную часть планктона — основного источника корма для морских животных. Фосфоресцирование тропических морей в первую очередь обусловлено ими. Массовое размножение некоторых видов настолько сильно окрашивает море, что получило название «красных приливов», вызывающих гибель рыбы. На рисунке — *Peridinium.*

Е. Отдел Chrysophyta

1. КЛАСС CHLOROMONADOPHYCEAE

Свободноплавающие хлоромонады — это одноклеточные зеленые или желто-зеленые водоросли, которые могут образовывать временные колонии. В этом классе очень немного родов. Хлоромонады, как и многие морские водоросли, вносят свой вклад в цепи питания в океане. На рисунке — *Gonyostomum.*

2. КЛАСС XANTHOPHYCEAE

Желто-зеленые водоросли, встречающиеся в пресной воде или на сырой почве, растут одиночно либо в колониях. У некоторых обитающих на почве видов есть корнеподобные нити. Несмотря на свою малочисленность и довольно ограниченную распространенность, этот класс тем не менее весьма интересен с эволюционной точки зрения. На рисунке — *Vaucheria.*

3. КЛАСС CHRYSOPHYCEAE

Одноклеточные, а иногда и образующие колонии хризомонады встречаются, как правило, в пресной воде. Некоторые из них предпочитают жить в быстрых потоках, где их ветвящиеся шнуровидные колонии достигают 90-сантиметровой длины. Морские виды составляют группу, не имеющую большого значения в цепи питания в океане. На рисунке — *Chromulina.*

4. КЛАСС BACILLARIOPHYCEAE

Диатомовые — самый большой класс водорослей — образуют основную массу простых форм планктона. Остатки их клеточных стенок, пропитанные кремнием, постепенно накапливались в огромных количествах в океанах. Залежи этих ископаемых остатков, называемые инфузорной землей, разрабатывают для использования ее в качестве фильтровального и связующего материала. На рисунке — *Actinoptychus* (слева) и *Triceratium.*

Ж. Отдел Phaeophyta

1. КЛАСС ISOGENERATAE

Эти морские бурые водоросли, наиболее примитивные в своем отряде, были предшественниками двух следующих классов. Их уплощенный, сильно разветвленный стебель прикрепляется ко дну талломом. Некоторые из них используются на удобрение либо сжигаются для получения калия и иода. На рисунке — *Dictyota.*

2. КЛАСС HETEROGENERATAE

Этот класс морских бурых водорослей включает знакомые всем ламинарии. Их узкое листовидное тело прикрепляется ко дну талломом. Бурые водоросли используются в пищу в Японии. Один из тихоокеанских видов достигает сотни метров в длину, представляя собой одно из самых длинных растений в мире. На рисунке — *Laminaria.*

3. КЛАСС CYCLOSPORAE

Наиболее далеко продвинувшиеся в эволюции и наиболее специализированные из бурых водорослей. Их тело, подобно телу ламинарий, имеет уплощенное лентообразное строение, а вдоль таллома сидят ряды крошечных воздушных пузырьков. К этому классу принадлежат свободноплавающие саргассовы водоросли субтропиков Атлантики. На рисунке — *Fucus.*

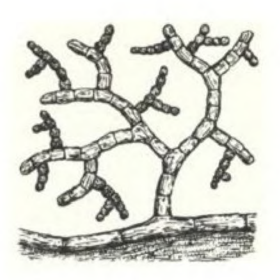
З. Отдел Fungi

1. КЛАСС MYXOMYCETES

Родство слизистых грибов с другими грибами неясно. Эти незаметные амебоподобные растения обычно встречаются на мертвых растительных остатках. Они медленно текут по поверхности почвы или в глубь нее, питаясь бактериями и кусочками органического вещества и оставляя слизистый след. На рисунке — *Cerateomyxa.*

2. КЛАСС PHYCOMYCETES

Этот класс грибов включает водные плесени, некоторые виды ложной мучнистой росы и всем известную хлебную плесень. Они имеют нитевидные тела, называемые гифами, и ясно различимые клеточные оболочки. Являются, как правило, паразитами растений и животных. На рисунке — *Rhizopus.*



3. КЛАСС ASCOMYCETES

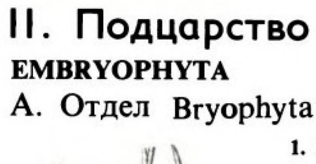
К этим грибам относятся дрожжи, возбудители настоящей мучнистой росы, розовая хлебная плесень. Один из грибов этого класса вызвал увядание конских каштанов в США. Однако среди них есть и полезные для человека грибы: дрожжи, вызывающие брожение, и плесени, синтезирующие антибиотики. На рисунке — *Neurospora.*

4. КЛАСС BASIDIOMYCETES

Наиболее знакомыми представителями этого класса являются шляпочные грибы с их хорошо выраженными плодовыми телами. Сюда же относятся различные виды ржавчинных и головневых грибов, вызывающие большие потери в сельском хозяйстве. Базидиомицеты, подобно всем грибам, играют существенную роль в процессах разложения. На рисунке — *Cantharellus.*

II. Подцарство EMBRYOPHYTA

А. Отдел Bryophyta



1. КЛАСС ANTHOCEROTAE

Печеночники с колоннообразным спорогонием относятся к наиболее примитивным из существующих высших зародышевых растений. Они отличаются от настоящих печеночников рудиментарной системой газообмена: нижняя поверхность их листовидных слоевищ пронизана многочисленными порами. На рисунке — *Anthoceros.*

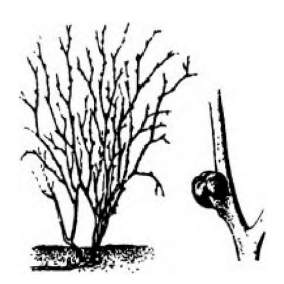
2. КЛАСС HEPATICAE

Печеночники, чьи предшественники, должно быть, были самыми первыми наземными растениями, преимущественно тропические растения. Хотя они обладают листовидной и стеблевидной структурой, у них нет настоящих корней, стебля и листьев или специализированных проводящих тканей, какие имеются у более развитых растений. На рисунке — *Marchantia.*

3. КЛАСС MUSCI

Мхи, встречающиеся главным образом во влажных местообитаниях, растут везде — от тропиков до арктических областей. Многие из них, обосновываясь на обнаженных поверхностях, участвуют в почвообразовательном процессе. Сфагновые мхи издавна используются как топливо. На рисунке — *Polytrichium.*

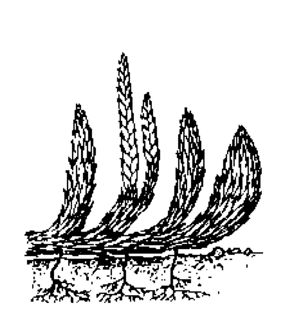
Б. Отдел Psilophyta



КЛАСС PSILOTAE

Псилофиты — самые примитивные из растений, обладающих специализированными проводящими тканями; от них, вероятно, и произошли сосудистые растения. У них есть разветвленные зеленые стебли и корневища, но нет настоящих корней. На рисунке — *Psilotum*.

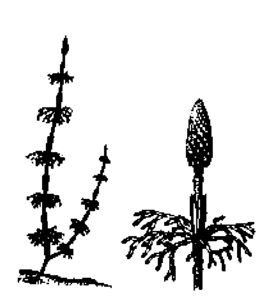
В. Отдел Lepidophyta



КЛАСС LYCOPODIAE

Плауны и полушниковые развили настоящие корни, а также ветвистые стебли и крошечные узкие листья. Они являются остатками когда-то изобиловавшего видами класса. Исчезнувшие представители этой группы, лепидодендроны, встречаются среди ископаемых растений, относящихся к каменноугольному периоду. На рисунке — *Selaginella*.

Г Отдел Calamophyta



КЛАСС EQUISETAE

Хвощи — также остатки когда-то широко распространенной группы. Болотные растения с членистыми стеблями, заканчивающимися шишковидными верхушками; встречаются они во всем мире, кроме Австралии. Их исчезнувшие родственники — каламитовые — процветали в мезозойскую эру. На рисунке —*Equisetum*.

Д. Отдел Filicophyta

КЛАСС FILICES

Папоротники, самая большая группа среди сосудистых растений, которые не образуют семян. Процветали в начале мезозойской эры. В настоящее время насчитывают 10 000 видов, некоторые достигают размера дерева. Растут в областях с самым различным климатом, но предпочитают влажные тенистые места. На рисунке — *Pteridium*.

Е. Отдел Cycadophyta

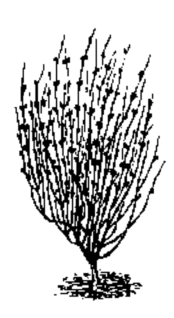
КЛАСС CYCADAE

Существующие саговниковые также являются остатками когда-то процветавшей группы. Своими крупными сложными листьями походят на папоротники, семена образуют в конечной шишке. Этот и следующий отряды относят к голосеменным, поскольку их семена не находятся в завязи. На рисунке — *Zamia*.

Ж. Отдел Coniferophyta

КЛАСС CONIFERAE

Хвойные — это прежде всего деревья, образующие шишки: сосна, ель, пихта, кедр, но они включают также тис и гинкго. Хвойные доминируют в лесах более холодной части умеренной зоны. Имеют большое хозяйственное значение как источник древесины и древесной пульпы для изготовления бумаги, а также добычи смол и скипидара. На рисунке — *Pinus*.



2. КЛАСС CHLAMYDOSPERMAE

Хотя их и относят к одной группе с хвойными, но скорее всего это небольшой отдельный класс, представляющий собой эволюционный тупик. Один из его трех родов — *Gnetum* — представлен тропическими деревьями и лианами, другой — *Ephedra* — это растение пустынь, а третий — *Welwitschia* — встречается только в Юго-Западной Африке. На рисунке — *Ephedra*.

З. Отдел Anthophyta

Цветковые растения, или покрытосеменные, из всех ботанических групп наиболее широко распространены и по численности превосходят других представителей мира растений. Все 10 порядков меньшего, но наиболее продвинувшегося на пути эволюции класса однодольных перечислены в руководстве, а из 47 порядков более многочисленных двудольных здесь представлены только 24.

ПЛАКУЧАЯ ИВА

АМЕРИКАНСКИЙ, ИЛИ БЕЛЫЙ, ВЯЗ

СВЕКЛА

ЛЮТИК

I. КЛАСС DICOTYLEDONEAE

Порядок **Piperales**: травянистые, главным образом тропические растения; к ним относятся только 3 семейства. Семена одного из видов — *Piper nigrum* дают черный (незрелый) и белый (зрелый) перец.

Порядок **Salicales**: деревья и кустарники, населяющие пространство от умеренной зоны до арктической; только одно семейство. Включает ценные в хозяйственном отношении тополя, ивы, осины.

Порядок **Myricales**: деревья и кустарники, произрастающие в умеренной и субтропической зонах; только одно семейство. Плоды восковника используются для изготовления ароматических свечей.

Порядок **Juglandales**: деревья умеренной зоны; только одно семейство. Три рода — орех, пекан и гикори; приносят съедобные плоды. Орех, и черный и грецкий, ценятся за декоративную древесину.

Порядок **Fagales**: деревья умеренной и субтропической зон; только 2 семейства — буковые и березовые. Каштан и дуб — оба с ценной твердой древесиной — относятся к семейству буковых.

Порядок **Urticales**: деревья и кустарники, главным образом тропические; 4 семейства. Вяз американский и шелковица — представители умеренной зоны, баньян и хлебное дерево — тропической.

Порядок **Polygonales**: травы и кустарники главным образом умеренной зоны; только одно семейство. Хорошо известны гречиха — единственная важная зерновая культура среди двудольных — и ревень.

Порядок **Centrospermae**: травы, кустарники и некоторые деревья, произрастающие от умеренной до тропической зон; 10 крупных семейств. Из знакомых видов — свекла, шпинат, гвоздика, ночная красавица.

Порядок **Ranales**: травы, кустарники и деревья, распространенные по всему миру; 19 семейств. Мало изменившиеся потомки примитивных покрытосеменных, в том числе магнолия и лютик.

Порядок **Rhoeadales** главным образом травы и кустарники, распространены от субтропиков до умеренных широт; 7 семейств. Одно из них — крестоцветные — включает 11 видов очень распространенных овощей.

Порядок **Sarraceniales**: травянистые растения, произрастают от умеренной до тропической зон; только 3 семейства. К этому порядку относятся насекомоядные растения — саррацения, росянка и венерина мухоловка.

Порядок **Rosales**: травы, кустарники и деревья, распространенные во всем мире; 17 важных семейств. Среди них много плодовых, бобовые (включая глицинию), платаны.

Порядок **Geraniales**: травы, кустарники и деревья зон умеренного, субтропического и тропического климатов; 21 семейство, более 5000 видов. Наиболее распространены цитрусовые, красное дерево, гевея, миррис.

Порядок **Sapindales**: кустарники и деревья главным образом зоны умеренного климата; 23 семейства. Сюда входят клен, конский каштан, падуб, фисташковое дерево, сумахи.

Порядок **Rhamnales**: кустарники и деревья тропиков, субтропиков и умеренной зоны; только 2 семейства. Семейство виноградных представлено диким виноградом *Partenocissus*, семейство крушинных — крушиной Пурша и ююбой.

Порядок **Parietales**: травы и деревья умеренной зоны, субтропиков и тропиков; самый большой порядок — 31 семейство. К его разнообразным представителям относятся чай и папайя, фиалка и бегония.

Порядок **Opuntiales**: травянистые и древесные растения тропиков, субтропиков и умеренной зоны; только одно семейство. Кактусы, уроженцы Нового Света, растут от Аргентины до Канады.

Порядок **Myrtiflorae**: травы и деревья, распространенные во всем мире; 23 семейства. К хозяйственно ценным представителям относятся гранатовое и гвоздичное де-

ГЛИЦИНИЯ

СЛАДКИЙ АПЕЛЬСИН

САХАРНЫЙ КЛЕН

ревья, эвкалипты, ямайский, или душистый, перец (пимент).

Порядок **Umbelliflorae**: травы, кустарники и деревья тропиков, субтропиков и зоны умеренного климата; только 3 семейства. Большое семейство зонтичных представлено сельдереем, петрушкой, фенхелем и укропом.

Порядок **Ericales**: травы, кустарники и деревья; распространены от тропиков до северных областей зоны умеренного климата; 4 семейства. Одно из них — вересковые — включает бруснику, чернику, клюкву, рододендроны, азалии и вереск.

Порядок **Tubiflorae**: травы, кустарники, деревья; распространены от тропиков до северных областей зоны умеренного климата; 23 семейства. К одному из них относится картофель, томаты и табак, к другому — виды мяты, к третьему — батат.

Порядок **Rubiales**: травы, кустарники и деревья; распространены от тропиков до зоны умеренного климата; 5 семейств. Наибольшее из них (5000 видов) включает кофейное и хинное деревья, ипекакуану и гардении.

Порядок **Cucurbitales**: травянистые растения, происходящие из тропической и субтропической зон; только одно семейство, куда входят тыква, кабачки, огурцы, арбузы и дыни.

Порядок **Campanulatae**: травы, кустарники и деревья; распространены от тропической зоны до арктической; 6 семейств. Сложноцветные, включающие 20 000 видов, относятся к наиболее продвинувшимся в эволюции двудольным. Пример — подсолнечник.

2. КЛАСС MONOCOTYLEDONEAE

Порядок **Pandanales**: травы, немногие виды деревьев; распространены от тропической зоны до арктической; только 3 семейства. К двум относятся болотные растения, рогозы и ежеголовники, к третьему — тропические панданусы.

Порядок **Helobiae**: распространенные во всем мире травянистые растения; 7 семейств. Все это болотные или водные растения. Многие виды служат пищей водоплавающей птице и убежищем для рыб.

Порядок **Glumiflorae**: распространенные во всем мире травянистые растения; 2 семейства (злаки и осоки). Наибольшую хозяйственную ценность из всех однодольных представляют зерновые злаки.

Порядок **Principes**: лианы и деревья тропиков и субтропиков; только одно семейство (4000 видов). К этому порядку относятся ратанговые пальмы и все настоящие пальмы — кокосовая и ей подобные.

Порядок **Synanthae**: травянистые тропические растения; только одно семейство циклантовых. Сюда относится так называемая «панамская пальма», используемая для изготовления шляп. Занимает промежуточное положение между настоящими пальмами и ароидными.

Порядок **Spathiflorae**: травянистые растения тропиков, субтропиков и зоны умеренного климата; только 2 семейства. Одно из них — ароидные (1500 видов) — включает филодендроны и ариземы.

Порядок **Farinosae**: травянистые растения тропиков, субтропиков и зоны умеренного климата; 13 семейств. Одно из них — бромелиевые (2000 видов) — включает ананас, испанский бородатый мох и неоглазиовию, которая дает волокно.

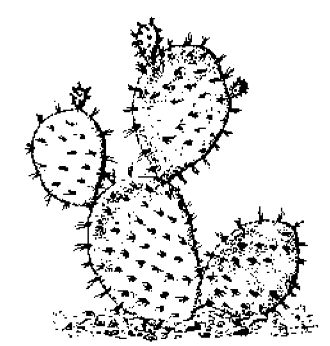
Порядок **Liliiflorae**: распространенные во всем мире травянистые растения; 8 семейств. Одно из них — лилейные (4000 видов) — преобладающее в этом порядке. Оно включает многие декоративные растения, лук и спаржу.

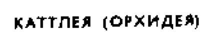
Порядок **Scitamineae**: травянистые тропические и субтропические растения; 4 семейства. Крайне продвинувшийся по эволюционному пути порядок; включает бананы, имбирь и маранту.

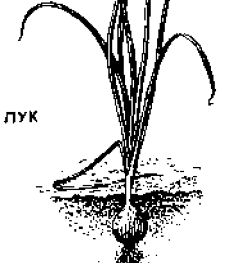
Порядок **Microspermae**: распространенные по всему миру травянистые растения; 2 семейства. Одно из них — орхидные — наиболее развито в эволюционном отношении и имеет очень специфичный способ размножения.

ОГУРЕЦ
РОДОДЕНДРОН
ПОДСОЛНЕЧНИК
КУКУРУЗА

КОКОСОВАЯ ПАЛЬМА


ОПУНЦИЯ


КАТТЛЕЯ (ОРХИДЕЯ)


ЛУК

ЛИТЕРАТУРА

Общие вопросы

Bailey L. H., Manual of cultivated plants (rev. ed.). Macmillan, 1949.

Cronquist A., Introductory botany. Harper and Row, 1961.

Fuller H. J., Tippo O., College botany (rev. ed.). Holt, Rinehart and Winston, New York, 1954.

Greulach V. A., Adams J. E., Plants: an introduction to modern botany. Wiley, 1962.

Hill A. F., Economic botany (2nd ed.). McGraw-Hill, 1952.

Hill J. B., Overholts L. O., Popp H. W., Grove A. R., Jr., Botany (3rd ed.). McGraw-Hill, 1960.

Jaeger P., The wonderful life of flowers. Harrap, 1961.

Moment G. B., ed., Frontiers of modern biology. Houghton Mifflin, Boston, Mass., 1963.

Ray P. M., The living plant. Holt, Rinehart and Winston, 1963.

Reed H. S., A short history of the plant sciences. Chronica Botanica, 1942.

Robbins W. W., Weier T. E., Stocking R., Botany, an introduction to plant science (2nd ed.). Wiley, 1957.

Sinnott E. W., Wilson K. S., Botany (6th ed.). McGraw-Hill, 1963.

Sistrom W. R., Microbial life. Holt, Rinehart and Winston, 1963.

Transeau E. N., Sampson H. C., Tiffany L. H., Textbook of botany (rev. ed.). Harper and Row, 1953.

Wilson C. L., Loomis W. E., Botany (3rd rev. ed.). Holt, Rinehart and Winston, 1962.

Анатомия и физиология

Bold H. C., Morphology of plants. Harper and Row, 1957.

Bonner J., Galston A. W., Principles of plant physiology. W. H. Freeman, San Francisco, 1952.

Dodd J. D., Form and function in plants. Iowa State University Press, 1961.

Esau K., Anatomy of seed plants. Wiley, 1960.

Esau K., Plant anatomy. Wiley, 1960.

Fogg G. E., The growth of plants. Penguin Books, 1963.

Galston A. W., The life of the green plant. Prentice-Hall, 1961.

Gerard R. W., Unresting cells. Harper: H. Hamilton, 1961.

Haupt A. W., Plant morphology. McGraw-Hill, 1953.

Hillman W. S., The physiology of flowering. Holt, Rinehart and Winston, 1962.

Lee A. E., Heimsch Ch., Development and structure of plants. Holt, Rinehart and Winston, 1962.

Meyer B. S., Anderson D. B., Bohning R. H., Introduction to plant physiology. Van Nostrand, 1960.

Steward F. C., ed., Plant physiology. Vols. IA and IB, 1960; Vol. 2, 1959; Vol. 3, 1963. Academic Press.

Strafford G. A., Plant metabolism. Heinemann Educ. Books, 1963.

Swanson C. P., The cell. Prentice-Hall, 1960.

Went F. W., The experimental control of plant growth. Ronald, New York, 1957.

Wolken J. J., Euglena. Rutgers University Press, New Brunswick, N. J., 1961.

Эволюция и систематика

Andrews H. N., Jr., Studies in paleobotany. Wiley, 1961.

Arnold C. A., An introduction to paleobotany. McGraw-Hill, 1947.

Benson L., Plant classification. Harrap, 1958.

Bold H. C., The plant kingdom. Prentice-Hall, 1961.

Delevoryas T., Morphology and evolution of fossil plants. Holt, Rinehart and Winston, 1962.

Gleason H. A., The new Britton and Brown illustrated flora (3 vols.). Stechert, New York, 1958.

Gray A., Fernald M. L., Manual of botany (8th ed.). American Book Co., New York, 1950.

Hellyer A. G. L., The encyclopaedia of plant portraits. Collingridge, 1953.

Lawrence G. H. M., Taxonomy of vascular plants. Macmillan, New York, 1951.

Pool R. J., Flowers and flowering plants (2nd ed.). McGraw-Hill, 1941.

Seward A. C., Plant life through the ages (2nd ed.). Hafner, 1960.

Специфичные растения

Clair C., Of herbs and spices. Abelard-Schuman, 1961.

Cobb B., A field guide to the ferns. Houghton Mifflin, Boston, Mass., 1956.

Harrison S. G., Garden shrubs and trees. Eyre and Spottiswoode, 1960.

Howes P. G., The giant cactus forest and its world. Meredith Press, Iowa, 1954.

Large E. C., The advance of the fungi. Dover, New York, 1962.

Lloyd F. E., The carnivorous plants. Ronald, New York, 1942.

Moldenke H. N., Moldenke A. L., Plants of the Bible. Ronald, New York, 1952.

Moore A. Ch., The grasses. Macmillan, New York, 1960.

Smith G. M., Cryptogamic botany (2 vols., 2nd ed.). McGraw-Hill, 1955.

Thomas W. S., Field book of common mushrooms (rev. ed.). Putnam, New York, 1948.

Tiffany L. H., Algae: the grass of many waters (2nd ed.). Blackwell Scientific Pub., 1958.

Withner C. L., The orchids. Wheldon and Wesley, 1959.

Среда обитания и распространение

Aubert de la Rüe E., Bourlière F., Harroy J.-P., The tropics. Alfred A. Knopf, New York, 1957.

Dansereau P., Biogeography. Ronald, New York, 1957.

Dasmann R. F., Environmental conservation. Wiley, 1959.

Daubenmire R. F., Plants and environment (2nd ed.). Wiley, 1959.

Haden-Guest S., Wright J. K., Teclaff E. M., A world geography of forest resources. Ronald, New York, 1956.

Kramer P. J., Plant and soil water relationships. McGraw-Hill, 1949.

Mathews F. Sch., Taylor N., Field book of American wild flowers (rev. ed.). Putnam, 1955.

Oosting H. J., The study of plant communities. W. H. Freeman, San Francisco, 1956.

Peattie D. C., Flowering Earth. Viking Press, New York, 1961.

Peattie D. C., A natural history of western trees. Houghton Mifflin, Boston, Mass., 1953.

Richards P. W., The tropical rain forest. Cambridge University Press, 1952.

Vines R. H., Trees, shrubs and woody vines of the Southwest. University of Texas Press, 1960.

Разное

Anderson E., Plants, man and life. Andrew Melrose, 1954.

Bates M., The forest and the sea. Museum Press, 1961.

Felt E. P., Plant galls and gall makers. Comstock Publishing, 1940.

Johnson W. H., Steere W. C., eds., This is life. Holt, Rinehart and Winston, 1962.

Koeppe C. E., De Long G. C., Weather and climate. McGraw-Hill, 1959.

May J. M., Studies in medical geography, 3 vols. Vol. 2: Studies in disease ecology; Vol. 3: The ecology of malnutrition in the Far and Near East. Hafner, New York, 1961.

McCormick J. The living forest. Harper and Row, 1959.

Meeuse B. J. D., The story of pollination. Ronald, New York, 1961.

Prentice E. P., Hunger and history. Caxton, Idaho, 1951.

Scientific American, eds., Plant life. Simon and Schuster, New York, 1957.

Stevens N. E., Russell B., Disease in plants. Ronald, New York, 1952.

Woytinsky W. S., Woytinsky E. S., World population and production. Twentieth Century Fund, 1953.

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие 5

1. Зеленый мир 9

2. Скрытый мир клетки 37

3. Растение как химическая фабрика 57

4. Движение воды в растении 75

5. Решение загадок роста 99

6. Формирующее действие климата 123

7. Растения вьющиеся, лазящие и хищные 141

8. Человек-властелин 163

Царство растений 184

Литература 190

Ф. Вент

В МИРЕ РАСТЕНИЙ

Редактор Р. Дубровская
Художественный редактор Ю. Максимов
Технический редактор А. Резоухова
Корректор Н. Спичкина

Сдано в набор 12/I 1972 г.
Подписано к печати 10/X 1972 г.
Бумага офсетная 84 × 108$^{1}/_{16}$ = 6 бум. л.
Усл. печ. л. 20,16
Уч.-изд. л. 23,71. Изд. N 12/6150
Цена 1 р. 89 к. Зак. 17.

Издательство «Мир»
Москва, 1-й Рижский пер., 2.

Ярославский полиграфкомбинат «Союзполиграфпрома» при Государственном комитете Совета Министров СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли. Ярославль, ул. Свободы, 97.

1 р. 89 коп.